



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## SIX SIGMA VE STROJÍRENSKÉ VÝROBĚ

SIX SIGMA IN MANUFACTURING PRODUCTION

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jiří Jarolímek

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.

BRNO 2017

# Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Student: **Bc. Jiří Jarolímek**  
Studijní program: Strojní inženýrství  
Studijní obor: Strojírenská technologie a průmyslový management  
Vedoucí práce: **prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.**  
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

## Six Sigma ve strojírenské výrobě

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Úkolem práce je definovat problém ve strojírenské výrobě, navrhnout a ověřit řešení pomocí nástrojů Six Sigma.

### Cíle diplomové práce:

1. Definice Six Sigma – z pohledu kvality, statistiky, popis jednotlivých nástrojů.
2. Porovnání efektivnosti výroby s aplikací nástrojů štíhlé výroby.
3. Návrh a ověření konkrétní aplikace metody Six Sigma ve výrobě.
5. Diskuze výsledků.

### Seznam doporučené literatury:

PANDE, P.S., NEUMAN, R.P., CAVANAGH, R.R. Zavádíme metodu Six Sigma aneb jakým způsobem dosahují renomované světové společnosti špičkové výkonnosti, TwinsCom, s.r.o., Brno, 2013. 416 s. ISBN: 80-238-9289-4.

GEORGE, M.L. Kapesní příručka Lean Six Sigma: rychlý průvodce téměř 100 nástroji na zlepšování kvality procesů, rychlosti a komplexity, SC&C Partner, Brno, 2010, 280 s. ISBN 978-80-904099-2-7.

GEORGE, M.L. Co je Lean Six Sigma, SC&C Partner, Brno, 2005, 94 s. ISBN 80-239-5172-6.

MONTGOMERY, D.C. Introduction to Statistical Quality Control, John Wiley & Sons, Hoboken, 2005, 759 s. ISBN 0-471-66122-8.

NEUENDORF, S. Six sigma for project managers, Va: Management Concepts, Vienna, 2004, 69 s. ISBN 1-56726-146-9.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

**ABSTRAKT**

Diplomová práce popisuje metody Six Sigma a definuje jejich použití ve strojírenské praxi. Práce se dále zabývá konkrétní analýzou problému ve strojírenské výrobě a navrhuje jeho řešení.

**Klíčová slova**

Six, Sigma, Kanban, regulace procesu

**ABSTRACT**

Diploma thesis describes Six Sigma methods and defines their application in manufacturing production. Study also analyze specific issue in manufacturing production and provide solutions.

**Key words**

Six, Sigma, Kanban, process regulation

**BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

JAROLÍMEK, J. *Six Sigma ve strojírenské výrobě*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 61 s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.

### PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Six Sigma ve strojírenské výrobě** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....  
Datum

\_\_\_\_\_  
Bc. Jiří Jarolímek

## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji panu prof. Ing. Miroslavu Píškovi, CSc. za cenné připomínky, rady ohledně metodologie řešení a za odborné vedení mé diplomové práce.

Děkuji mé manželce, mým rodičům a mému bratrovi za podporu během mého studia na FSI VUT v Brně.

Děkuji panu Romanu Závodníkovi a paní Monice Wágnerové ze společnosti Kampos, s.r.o. za vstřícnost, trpělivost a poskytnutí dat pro aplikovanou část této práce.

Děkuji Ing. Aleši Bočkovi z Jihomoravského Inovačního Centra (JIC) za pomoc a výběr společnosti pro aplikovanou část této práce.

Děkuji Ing. Tomáši Spisarovi- Lean specialistovi a Six Sigma Black Belt držiteli za konzultaci ohledně metodologie řešení.

## OBSAH

ABSTRAKT .....	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ .....	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	9
1 HISTORIE SIX SIGMY .....	10
1.1 Komplexní řízení kvality (TQM).....	10
1.2 General Electrics a další .....	11
1.3 Systém výroby firmy Toyota (TPS).....	11
1.4 Druhy plýtvání .....	12
1.5 Just in Time.....	12
2 SIX SIGMA – Význam, systém .....	14
2.1 Definice Six Sigma .....	14
2.2 Statistický význam Six Sigma .....	14
2.3 Systém certifikace znalosti řízení podle Six Sigma.....	15
2.3.1 Zelený pás .....	16
2.3.2 Černý pás .....	16
3 METODA DMAIC .....	17
3.1 Definovat .....	17
3.2 Měřit.....	18
3.3 Analyzovat .....	19
3.4 Zlepšit .....	20
3.5 Řídit .....	20
4 NÁSTROJE .....	22
4.1 Popis procesu (SIPOC) – fáze Definovat .....	22
4.2 Procesní mapa – fáze Definovat .....	23
4.3 Myšlenková mapa – fáze Definovat .....	24
4.4 Analýza vad a jejich vlivu (FMEA) – fáze Měřit .....	25
4.5 Hlas zákazníka (VOC) – fáze Měřit .....	28
4.6 Paretovy diagramy – fáze Měřit, Analyzovat .....	30
4.7 Stabilita procesu GAGE R&R – fáze Měřit, Analyzovat .....	31
4.8 Způsobilosti procesu – fáze Analyzovat .....	32
4.9 5S – fáze Zlepšit .....	33
4.10 POKA YOKE – fáze Zlepšit.....	35

4.11 FIFO – fáze Zlepšit .....	35
4.12 KANBAN – nástroj fáze Zlepšit.....	36
4.13 Řídící plán – fáze Řídit .....	40
5 APLIKACE.....	41
5.1 Představení společnosti.....	41
5.2 Popis problému ve výrobě .....	42
5.3 Cílový stav .....	43
5.4 Řešení pomocí DMAIC .....	43
5.5 Definování procesu .....	43
5.6 Měření procesu .....	45
5.7 Analýza měření procesu.....	48
5.8 Zlepšení procesu .....	49
5.8.1 Návrh zlepšení procesu pro materiál 1418376 .....	49
5.8.2 Návrh zlepšení procesu pro materiál x-1718321-x.....	51
5.8.3 Návrh kanbanové karty .....	52
5.8.4 Kanbanová tabule .....	52
5.9 Návrh řízení zlepšeného procesu .....	53
6 DISKUZE .....	55
ZÁVĚR .....	56
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	57
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....	61



## ÚVOD

Prvotním impulzem pro zpracování tématu Six Sigma ve strojírenské výrobě byl můj zájem o metodiku štíhlé výroby a systémů na optimalizaci kvality a efektivity výroby. V dnešní době dochází ke stále se zvyšujícím požadavkům na efektivitu průmyslové výroby a na neustálé zlepšování finanční výsledky společností. Soubor metod Six Sigma se zaměřuje na zlepšování procesů, zlepšení kvality a odstranění faktorů plýtvání.

Tato studie v teoretické části mapuje vznik systému řízení kvality Six Sigma, popisuje jeho význam a zmiňuje vlastní systém vzdělávání a certifikace odborníků v metodice řízení podle Six Sigma. Následně je detailně rozebrána metoda řešení DMAIC. V samostatné kapitole jsou představeny nástroje používané v řešení DMAIC, dále jsou popsány systémy logistického řízení FIFO a Kanban vzhledem k tomu, že jsou tyto metody použity v praktické části.

Praktická část této studie zlepšuje proces zásobování výrobní linky ve výrobní společnosti sídlící v České republice, dodávající komponenty pro automobilový průmysl. V tomto průmyslovém odvětví jsou zvýšené požadavky na výstupní kvalitu, efektivitu procesů a výslednou cenu. Bylo mi umožněno v této společnosti aplikovat řešení problémů ve výrobě pomocí metod a nástrojů Six Sigma.

Dalším důvodem pro zpracování tématu Six Sigma ve strojírenské výrobě byl fakt, že jsem v červenci 2016 prošel školením a certifikací Six Sigma *Green Belt*, kde bylo moji hlavní motivací zvýšit znalostí teoretického základu problematiky, kterou objasňuji v této práci.

## 1 HISTORIE SIX SIGMY

Metodologie Six Sigma je úzce spjata se společností Motorola. Motorola je americká společnost vyrábějící elektroniku, která začala v sedmdesátých a osmdesátých letech ztrácet tržní podíly na domácím a zahraničním trhu. Hlavní příčinou této ztráty byla zhoršující se kvalita produkce, dále pak kvalitativní vzestup japonského průmyslu, který začal dodávat levnější a kvalitnější elektroniku na celosvětový trh, což představovalo pro Motorolu existenční problém. Vedoucí pracovníci v Motorole v té době připouštěli, že kvalita jejich výrobků ztrácí konkurenceschopnost. Motorola měla hned několik plánů na zlepšení kvality. V roce 1987 vzešel z interních zdrojů plán pojmenovaný tzv. Opatření Six Sigma. Plán, který nabídl Motorole důsledný, ale přitom jednoduchý způsob sledování a porovnání kvality podniku podle toho, jak plní požadavky zákazníků. Cíl byl na tehdejší dobu velmi ambiciózní. Dosáhnout téměř dokonalé kvality. Aplikace a vývoj metody Six Sigma v Motorole je spjat se dvěma jmény: George Fisher a Bob Galvin [1].

Dle literatury bylo Galvinovým plánem během pěti let dosáhnout desetinásobného zlepšení (tzv. „ten-ex“). Realita však byla ještě lepší. Desetinásobného zlepšení se podařilo dosáhnout již během prvních dvou let, plán byl tedy pozměněn na desetinásobné zlepšení každé dva roky (tzn. stonásobné zlepšení během čtyřech let). Tento výjimečný vzestup Motoroly začal být zanedlouho oceňován, již po dvou letech jí byla udělena cena za kvalitu ve Spojených státech, a to *Malcom Baldrige National Quality Award*, během prvních deseti let Motorola zaznamenala následující úspěchy [1]:

- pětinašobný růst obrátu,
- kumulativní úspory vedoucí z aplikace systému Six Sigma dosáhly hodnoty 14 miliard dolarů,
- růst akcií o 21,3% ročně.

Motorola pod vedením Galvina dosáhla úspěchu i na poli výskytu defektu na milion příležitostí (tzv. DPMO). Splnila tak cíle samotného statistického pojetí Six Sigma, tedy maximálně 3,4 defektů na milion příležitostí (opakování). Ve svém prohlášení Galvin uvedl, že Motorola dodala na trh 4 miliony kusů mobilních přístrojů, z nichž bylo pouze 12 kusů vadných (nefunkčních) [7].

### 1.1 Komplexní řízení kvality (TQM)

Filozofie Six Sigma upustila od dosavadního pojetí kvality, tj. 100% bezchybnou výrobu. Připustila a definovala tak možnou kvalitativní odchylku. *Total Quality Management* (tzv. TQM) dal základ pro metodologii Six Sigma tím, že definoval kvalitu, ne pouze výstupní kontrolou již vyrobeného, či opravou vadných kusů, ale komplexní kontrolou a sledováním všech jednotlivých procesů, které mají vliv na produkt, případně na zákazníka samotného. Z TQM později vyšla nejčastěji aplikovaná metodika Six Sigma, a sice DMAIC [8,9].

Očekávání ohledně kvality se v průběhu času mění. *Total Quality Management* definuje následující pilíře, na kterých další systémy řízení kvality stojí a na které by se měla společnost aplikující řízení kvality zaměřit [9]:

- zbavit se defektů,
- analyzovat vhodnost použití systému řízení kvality,
- znát celkové funkce a charakteristiky produktů vedoucí k uspokojení požadovaných potřeb,
- znát funkce a charakteristiky produktu, které zákazník ocení.

## 1.2 General Electrics a další

Úspěch aplikace metody Six Sigma není spjat pouze se společností Motorola, v pozdějších letech na ni navázaly další společnosti. Další z úspěšných společností, která implementovala řízení kvality pomocí metody Six Sigma je společnost General Electric. Společnost na sebe upoutala pozornost v druhé půli devadesátých let, když firma zvýšila svůj roční zisk v roce 1998 o 750 milionů amerických dolarů. Tuto sumu ještě zdvojnásobila v nadcházejícím roce, když zisk dosáhl 1,5 miliardy dolarů [1].

Za tímto úspěchem stojí především kompletní odevzdanost implementovanému systému kvality, jak vrcholovým managementem, tak řadovými zaměstnanci. Na úspěch Motoroly a General Electric dále navázaly společnosti jako 3M, Honeywell, IBM, Allied signal. Z nichž některé připustily, že toto odevzdání a podrobení všech procesů systémové kvalitě mělo určitý dopad na snížení kreativity zaměstnanců, hlavně z vývojových center společnosti. Aby tedy existoval komplexní systém zlepšování kvality, společnost by měla spolu se Six Sigmou zavádět i další systémy, které jsou vhodné pro průlomové inovace [1,10].

## 1.3 Systém výroby firmy Toyota (TPS)

Systém výroby ve společnosti Toyota, označovaný jako TPS (tzv. *Toyota Production System*). Systém TPS byl vyvinut a implementován po druhé světové válce společností Toyota, která čelila ztíženým podmínkám na celosvětovém trhu s automobily. Oproti americkým konkurentům (značky Ford, GM) disponovala menším výrobním vybavením a menším odběratelským trhem. Toyota dále musela veškerou výrobní produkci, zahrnující různé typy automobilů realizovat na jedné výrobní lince. Soustředila se tedy hlavně na efektivní plánování, pružnou výrobu schopnou rychle reagovat na změny a na krátké dodací termíny. Tímto přístupem společnost rychle dosáhla zlepšení v kvalitě výroby, pozitivní zákaznické odezvy a efektivnější využití výrobního vybavení. TPS vykazoval potřebu komplexního propojení výroby a logistického řetězce, na principech TPS tak později vznikla metoda řízení logistiky *Just in Time* (právě v čas) [47].

Společnost Toyota se během 40. a 50. let dvacátého století tedy musela zaměřit na zredukování plýtvání času a materiálu ve všech svých výrobních procesech od vstupních komponent až po finální výrobek [47].

## 1.4 Druhy plýtvání

Six Sigma, jako systém řízení kvality definuje sedm druhů plýtvání, vycházejících ze systému TPS. V řízení štihlé výroby obecně platí, že je nejprve plýtvání nutné definovat, předtím než budou podniknuty kroky k jeho odstranění. Plýtvání označuje činnosti, které nepřidávají hodnotu finálnímu produktu. Bylo definováno následujících sedm druhů plýtvání, které brání maximalizaci využití zdrojů [14, 28]:

- nadprodukce – vytváření více finální výroby než je potřebné, v inženýrské praxi to může znamenat např. vytváření nových součástí, tam kde mohou být použity již existující,
- čekání – jedná se o nadměrné aktivity, které brání posunutí samotného procesu (např. čekání na materiál, nutnost schválení vytvořeného výkresu, aj.),
- transport (přeprava) – jedná se o nadměrný přesun materiálu mezi interními dodavateli jednotlivého procesu,
- přeprocesování – přeprocesování lze definovat jako příliš mnoho administrativy bránící dokončení procesu, případně finalizaci výrobku,
- nadměrné zásoby – skladování více polotovarů, případně surového materiálu než je možné zpracovat,
- nadměrná manipulace – v inženýrské praxi může být tímto druhem plýtvání považováno nadměrné množství změn v dokumentaci, přesun jednotlivých úkolů na jiné lidi, aj., v rámci výrobních procesů je nadměrnou manipulací např. situace, kdy musí operátor hledat místo pro odložení rozpracované výroby, nástrojů, jakkoliv se neplánovaně pohybovat, čímž ztrácí čas, který by bylo možné využít pro výrobu samotnou,
- výroba defektů – posledním druhem plýtvání je výroba defektů, nefunkčních, případně nestandardních produktů, které musí být dále opraveny, případně zničeny.

## 1.5 Just in Time

*Just in Time* (JIT) je nejznámější logistická metoda řízení. Tato metoda vznikla počátkem 80. let v USA a Japonsku, odkud se později rozšířila do Evropy. Jedná se o zásobování materiálem nebo hotovými výrobky v distribučním řetězci a dodávkami tzv. „v pravý čas“ což je český ekvivalent pojmenování této metody [38]. Tato metoda navázala na základy systému TPS [47].

JIT je nejen filozofie řízení logistického řetězce po ose: zákazník, výrobce, dodavatel, ale i metoda použitelná pro plánování výroby. Cílem je dostat správný materiál na správné místo v potřebnou dobu. Běžný plánovací výrobní systém aplikující metodu MRP II využívá tzv. *push* systém (systém tlaku), při kterém je materiál „tlačen“ do výroby s ohledem na maximální využití všech dostupných zdrojů (kapacit). Metodologie JIT aplikuje metodu tahu, tzv. *pull method*. Princip této metody je definován, jako výroba přesně podle požadavků zákazníka (nevytváří nadprodukcí), zákazník tzv. „táhne“ trh

a dodavatele. Dochází tak k vytváření plynulého toku materiálu. *Just in Time* řízení je schopné aplikovat a efektivně řídit proměnlivé výrobní dávky [39].

Metoda *Just in Time* se dále snaží o redukcí času průběžné doby výroby a snižování, případně odstranění logistických prostoje. Technologie JIT se tak zaměřuje na všechny činnosti nepřidávající hodnotu v komplexním pojetí celého dodavatelského řetězce. Na rozdíl od systému *Just in Case*, tzv. „právě pro případ“, který udržuje pojistné zásoby, kterými kompenzuje nedostatky, případně zpoždění vyskytující se v samotném logistickém řetězci [38, 39].

Při aplikaci metody JIT je nutné počítat s následujícím ekonomickým dopadem [38,40]:

- růst nákladů na přepravu: snížením množství dopravovaného zboží rostou náklady pro dopravu jedné dávky (požadavky na rychlé dodání menšího množství),
- pokles nákladů na skladování (menší množství zboží, menší objem) a na vázanost kapitálu ve vstupním materiálu.

Se zavedením JIT jsou nejčastěji spojeny tyto problémy [40]:

- nedostatek spolupráce ze strany dodavatelů, obvykle z důvodu změn spojených se systémem dodávek, případně balení,
- dodavatel a zákazník si musí navzájem poskytnout přístupy do vlastních plánovacích systémů,
- problémy s fakturací,
- časté změny objednávek.

## 2 SIX SIGMA – VÝZNAM, SYSTÉM

### 2.1 Definice Six Sigma

Six Sigma je program řízení kvality a procesů, ve kterém nedochází k většímu počtu defektů než je hodnota 3,4 na milion příležitostí. Six Sigma má za cíl maximalizaci a udržení obchodního úspěchu s ohledem na porozumění potřeb a očekávání jednotlivých zákazníků. Využívá úzkého vztahu mezi defekty produktů, časem cyklu, spolehlivostí, zásobami a časovým rozvrhem [1,2].

Six Sigma může být chápána dvěma způsoby [3]:

- obchodní strategií,
- jako věda zabývající se snížením výrobních a operačních nákladů.

Tato studie sleduje druhý zmíněný způsob. Širší výklad nástrojů, popis problematiky a metody řešení jsou orientovány na technickou praxi. První způsob, a sice přístup obchodní strategie firmy je zmíněn okrajově.

V Six Sigma řízení kvality je největší prioritou označován zákazník a jakékoliv zlepšení nebo implementace řešení je posuzována vzhledem k přímému dopadu na zákazníka nebo na zvýšení produkované hodnoty. Cílem firmy, která implementuje řízení pomocí Six Sigma je poskytovat světovou úroveň kvality produktů a služeb [3].

Praktická část této práce se zabývá řešením problému ve výrobě pomocí analytického přístupu DMAIC. Tento přístup a jednotlivé nástroje jsou rozebrány v příslušných kapitolách práce.

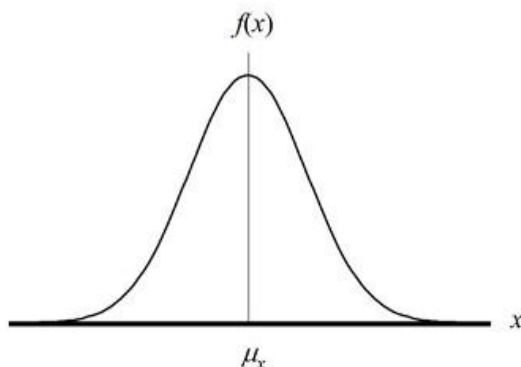
### 2.2 Statistický význam Six Sigma

Six Sigma má statistický význam. Řecké písmeno Sigma ( $\sigma$ ) je statistické označení pro směrodatnou odchylku. Hodnota Sigma poté označuje rozptyl hodnot ve vzdálenosti od definovaného průměru [4].

Směrodatnou odchylku lze nejlépe popsat pomocí grafu normálního rozdělení, které je obecněji známo pod pojmem Gaussova křivka. Matematický popis Gaussovy křivky je definován následovně [4]:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x-\mu)^2 / 2\sigma^2} \quad (2.1)$$

Grafické znázornění Gaussova rozdělení (viz. obr. 2.1)



Obr. 2.1 Gaussova křivka [5].

V tabulce níže (Tab. 1.1) jsou znázorněny jednotlivé hodnoty Sigma ve vztahu k DPMO a procentuálnímu výnosu.

Tab. 1.1 Porovnání úrovně Sigma [1,6].

Hodnota Sigma	DPMO	Procentuální výnos
1,0	690 000	31,0 %
2,0	308 000	69,2 %
2,5	158 655	84,1345 %
3,0	66 807	93,3193 %
3,5	22 750	97,725 %
4,0	6 210	99,379 %
4,5	1 350	99,865 %
5,0	233	99,9767 %
5,5	32	99,9968 %
6,0	3,4	99,99966 %
6,5	0,29	99,999971 %
7,0	0,0010	99,9999999 %

Pro praktickou představu kvalitativního měření Six Sigma může posloužit tento příklad [1]:

- v nepřetržitém týdenním vysílacím čase televizního kanálu dojde k výpadku signálu maximálně na 1,8s z celé vysílací doby.

## 2.3 Systém certifikace znalosti řízení podle Six Sigma

Six Sigma definuje úroveň znalostí metodologie pomocí tzv. *belt* systému. Tato koncepce je převzatá z asijských bojových umění, kde pás (tzv. *belt*) označuje různou technickou úroveň znalostí a zkušeností jednotlivců [1].

Celkem Six Sigma rozeznává tři úrovně znalostí. Jedná se o zelený pás, (tzv. *Green Belt*), černý pás (tzv. *Black Belt*) a mistrovský černý pás (tzv. *Master Black Belt*) [4].

### 2.3.1 Zelený pás

Jedinci vlastníci Six Sigma *Green Belt* jsou v metodologii Six Sigma vedoucí projektů, kteří ví jak zformovat a řídit řešitelské týmy a vést Six Sigma projekty od konceptu až po dokončení. *Green Belt* školení je pěti denní výuka v učebnách, skládající se z teoretických základů ve spojení s projekty Six Sigma. Vyučovaná témata jsou [4]:

- řízení projektu,
- nástroje pro řízení kvality,
- nástroje kontroly kvality,
- řešení problémů,
- popisná analýza dat.

Literatura uvádí, že Six Sigma *Green Belt* adepti mají přiděleného mentora z řad *Black Belt* jedinců, který jim pomáhá s definováním vlastních projektů a pomáhá s řešením [4].

### 2.3.2 Černý pás

*Black Belt* držitelé jsou technicky orientovaní jedinci, kteří by měli být aktivně zapojeni v řízení a rozvoji procesů jednotlivých firem. Není zde požadavek na to, aby kandidáti byli vystudovaní statistici nebo analytici. Nicméně vzhledem k potřebě umět správně analyzovat a vyhodnotit složitá a objemná data je toto vzdělání přínosem. *Black Belt* školení je koncipováno na 160 hodin výuky teorie ve skupině. Dále pak individuální výuka zajištěná odborníky z jednotlivých oblastí. Individuální část výuky se liší, dle jednotlivých firem. Úspěšní kandidáti musí umět ovládat i statistický software, např. Minitab. Pro úspěšné získání certifikace *Black Belt* je nutné mentorovat a vést adepty na certifikaci *Green Belt* [4].

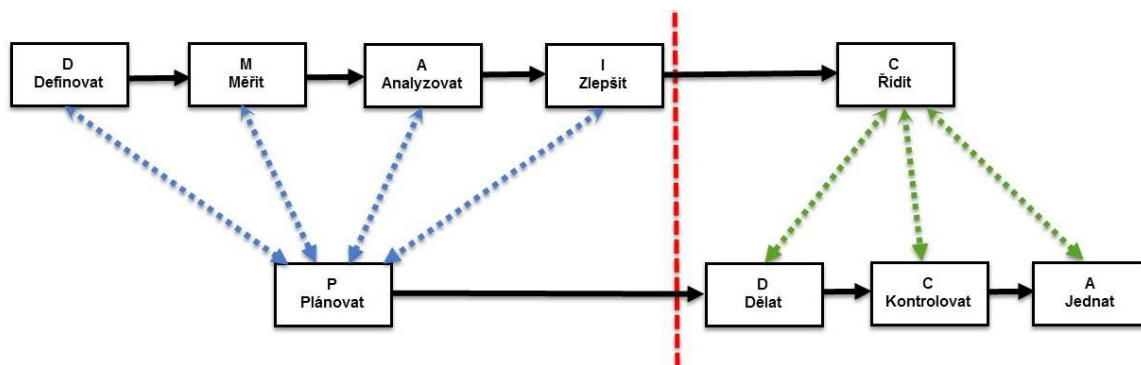
Samotnou certifikaci je možno získat u mnoha komerčních institucí, kde samotné zkoušky předchází výše popsané bloky přednášek. Řada mezinárodních firem má i licenci tyto certifikáty udělovat sama pod vlastním jménem, což je i případ mého zaměstnavatele.



### 3 METODA DMAIC

DMAIC je zkratka počátečních písmen anglických slov: *define, measure, analyse, improve, control*, tedy definovat, měřit, analyzovat, zlepšit, řídit. Jedná se o strukturovanou metodologii, zaměřenou na řešení procesních problémů v různých odvětvích podnikání [11].

Metoda DMAIC je funkčně podobná, již dříve definovanému systému pro řešení problémů ve výrobě, a to PDCA cyklu (plánovat, dělat, kontrolovat, jednat). V teoretickém pojetí je metodologie DMAIC přístup jakým lze měnit zavedené procesy, řešit problémy ve výrobě, zlepšovat procesy a zavádět nové. Obecně je metodologie popisována, jako soubor kroků k snížení procesní variability. Přístup DMAIC kombinuje poznatky a zkušenosti ze strojírenské praxe, řízení kvality a vědecké analýzy. Jedná se o základní princip Six Sigma, který by měl být součástí implementačního plánu pro zavedení Six Sigma jako souboru nástrojů řízení výroby [12]. Vztah mezi metodou DMAIC a PDCA cyklem je znázorněn na obr. 3.1.



Obr. 3.1 Vztah mezi cykly DMAIC a PDCA – podle [16].

Řešení problému ve výrobě pomocí DMAIC je doporučeno v případě, že kořenová příčina problému je neznámá nebo není zcela jasná. Dále v případě, že je zde potenciál dosáhnout finančních úspor. Projekt řešený pomocí DMAIC by měl být vyřešen maximálně během doby šesti měsíců [13].

První tři kroky – definování, měření a analýza mapují a kvantifikují problém a současný stav. Poslední dva kroky, tj. zlepšování a řízení definují kroky k dosažení požadovaného zlepšení a navrhuji, jak tuto změnu udržet (řídit) [13].

#### 3.1 Definovat

V první fázi DMAIC metodologie je nutné definovat samotnou podstatu problému, provést jeho selekci, určit cíle, definovat, co je od řešení očekáváno [12].

Konkrétní kroky jsou popsány následovně [12]:

- identifikace a mapování relevantních procesů,
- identifikace zainteresovaných stran,

- upřednostnění zákaznických potřeb a požadavků,
- vytvoření ekonomické bilance projektu.

V definovacím kroku DMAIC řešení jsou nejčastěji používány tyto nástroje [14]:

- projektová listina,
- myšlenková mapa,
- SIPOC,
- FMEA,
- porovnání procesů s obdobnou organizací (tzv. *benchmarking*),
- procesní mapa.

Konkrétnímu popisu a vysvětlení jednotlivých nástrojů Six Sigma spolu s vizuálními příklady se věnuje příslušná kapitola této studie.

### 3.2 Měřit

Druhá fáze DMAIC přístupu má za cíl důkladně porozumět aktuálnímu stavu procesu a shromáždit potřebná data definující rychlost procesu, jeho kvalitu a náklady, které mají přímý dopad na definovaný problém z předchozího kroku [11].

Tyto data následně poslouží k vyhodnocení stavu po implementaci navržených změn a budou tedy sloužit jako zdroj porovnání [15].

Při měření efektivity a výkonnosti procesů je nutné najít správné číselné vyjádření pro nečíselný element. Problémy ve výrobních procesech často nejsou exaktně popsány. Cílem této fáze je tedy najít a aplikovat odpovídající měřicí systémy, které dovedou jednotlivé problémy vyjádřit v datech [4].

Nejčastěji aplikované nástroje ve fázi měření jsou [14, 11, 4]:

- myšlenková mapa,
- procesní mapa,
- matice příčin a následků,
- analýza vad a jejich vlivu (tzv. FMEA),
- Paretovy diagramy,
- diagram toku hodnoty,
- hlas zákazníka (tzv. VOC).

Ve fázi měření jsou rozeznávány tři typy dat [11]:

- a) spojitá data – jsou jakákoliv proměnná data měřená na stupnici, jenž lze nekonečně dělit, k interpolaci naměřených dat jsou použity statistické nástroje, často s pomocí

softwaru, tento typ dat je obecně preferován z důvodu jednoduššího analytického popisu, jedná se např. o: čas cyklu, snímanou teplotu, fyzikální rozměry (výška, šířka, hloubka, tloušťka), aj.,

b) diskrétní data – jedná se o všechny ostatní typy dat, která nejsou spojitá a zahrnují:

- počet, tj. bezrozměrné číslo,
- binární data – data, která mohou mít pouze jednu ze dvou hodnot, nejčastěji možnosti: ano/ne, dále pak vyhodnocení výrobku: dobrý/špatný, aj.,
- nominální data – jedná se o jména nebo označení, kde neexistuje dříve definovaný důvod pro popsání označení, např.: pracovník 1, pracovník 2, oddělení A, oddělení B, aj.,

c) atributivní data (ordinální) – jedná se o položku na zvolené stupnici, která je subjektivně definována pozorovatelem (osobou provádějící měření), jedná se např. o posouzení vzhledu výrobku, kde stupnice je definována následovně: vynikající, velmi dobrý, průměrný, horší, nepoužitelný, s touto formou dat se lze často setkat v zákaznických průzkumech, kde mají respondenti na výběr z možností: zcela souhlasím, souhlasím, nesouhlasím, zcela nesouhlasím.

### 3.3 Analyzovat

Ve fázi analýzy je hlavním úkolem ověřit a vyhodnotit klíčové proměnné hodnoty vztahující se k cílům projektu. Hodnoty, které mají vliv na vstupní a výstupní parametry procesu [11].

Obecné kroky v této fázi jsou popsány následovně [11]:

- stanovení kritických vstupů,
- provedení analýzy dat,
- provedení analýzy procesu,
- stanovení klíčových příčin,
- upřednostnění klíčových příčin.

Výstupem této fáze je zjištění kořenové příčiny defektu, či jednotlivých selhání v daném procesu [3,17].

Analýza procesu zahrnuje [11]:

- hodnocení procesu (kde jsou časové, ekonomické ztráty),
- identifikaci problému s tokem procesu,
- analýzu klíčových příčin,

### 3.4 Zlepšit

Cílem čtvrté fáze DMAIC metodologie je přijmout a zavést opatření vedoucí ke zlepšení procesů. Jedná se o exekutivní část DMAIC přístupu. Zásadní změny ve zlepšení kvality se často neobejdou bez změny filozofie vedení firmy, pro zlepšení procesů je však nutné v jakékoliv míře změny aplikovat [4,11,15].

Zlepšení je cíleno na odstranění již známé kořenové příčiny problému [18].

Ve fázi zlepšení jsou na základě naměřených a vyhodnocených dat řešeny následující akce [1, 11]:

- sestavení nápadů vedoucí k odstranění kořenové příčiny problémů,
- vyhodnocení možných rizik se zavedením procesní změny,
- upřednostnění jednotlivých řešení (v případě, že jich je více),
- testování řešení,
- standardizování jednotlivých řešení do praxe,
- provedení pilotní řešení,
- ověření výsledků měřením,
- navrhnutí nových procesů,
- implementace nových procesů, případně organizačních struktur, či pomocných systémů.

### 3.5 Řídit

Fáze řízení se zabývá dokončením a uzavřením prací na projektu. Odevzdává zlepšený proces vlastníkově, definuje procedury udržitelnosti nového procesu a nastavuje jeho metriky [11].

Ve fázi řízení je definováno, jak dlouhodobě udržet navrhnutá zlepšení, tj. získat výhody ze zavedené změny. Dále potom tuto změnu efektivně udržovat a řídit, tak aby již nedocházelo k problému, který byl definován v první fázi řešení [3, 19].

Zlepšený proces je nutné správně zdokumentovat, aby byl usnadněn převod mezi vlastníky procesu a nedošlo k nesprávnému pochopení klíčových bodů, vedoucích k odstranění kořenové příčiny problému [11].

Cílem řídicí fáze je [11, 19]:

- zavést metriky hodnocení procesu,
- dokumentovat standardní operační procedury, zamezující výskyt chyb,
- definovat kontrolní plány,
- převést vlastnictví procesu,

- zavést systémové monitorování zlepšeného řešení,
- zhodnotit výskyt možných risků.

Poslední fáze DMAIC metodologie je i fází nejdelší, navrhnutou změnu je nutné sledovat a vyhodnotit, zda je dlouhodobě dosahováno požadovaných zlepšení [11].

## 4 NÁSTROJE

V následující kapitole jsou popsány jednotlivé nástroje vyskytující se v DMAIC metodologii řešení. Vhodné nástroje z tohoto seznamu byly použity pro aplikovanou část této diplomové práce. Popisované nástroje jsou chronologicky řazeny, podle toho v jaké fázi DMAIC metodologie je literaturou doporučeno jejich použití.

### 4.1 Popis procesu (SIPOC) – fáze Definovat

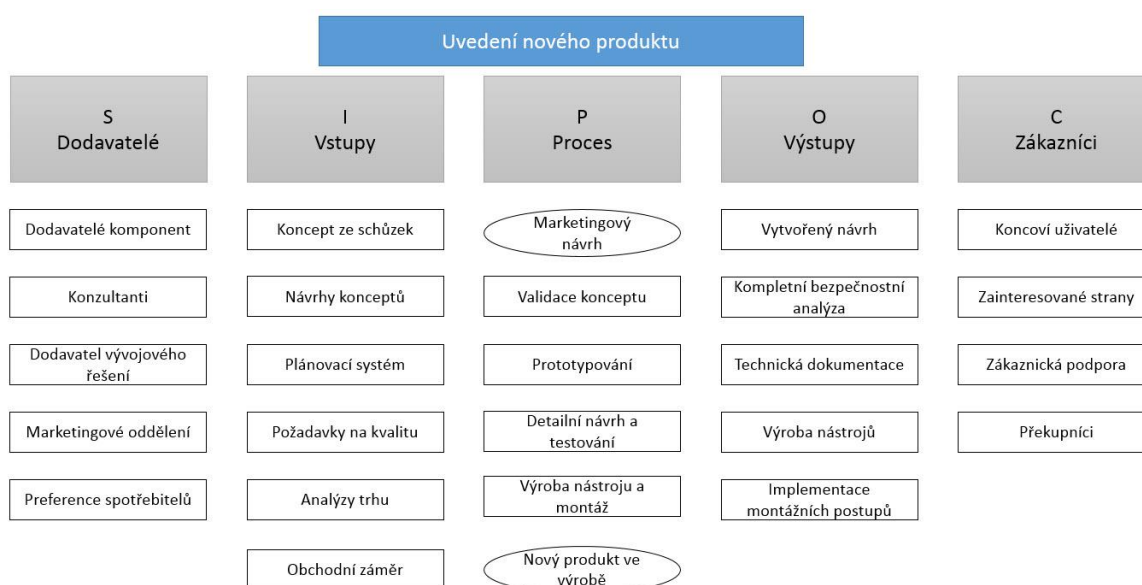
SIPOC je nástroj Six Sigma používaný v první fázi DMAIC metodologie (tj. definovací fáze). Název je odvozen od počátečních písmen pěti popisovaných elementů [11]:

- dodavatelé (tzv. *suppliers*),
- vstupy (tzv. *inputs*),
- proces (tzv. *process*),
- výstupy (tzv. *outputs*),
- zákazníci (tzv. *customers*).

Jedná se o diagram, jenž vymezuje a identifikuje posuzovaný proces. V diagramu jsou identifikovány hranice procesu, vstupy dodavatelů, procesní vstupy, jednotlivé kroky procesu, zákazníci a výstupy. Při tvorbě SIPOC diagramu je nutné posuzovat pouze inkriminovaný proces, nikoliv náhled na produkt, případně obchodní záměr celé firmy. Dodavatelé procesu tedy mohou být jiná oddělení ve společnosti, stejně tak jako zákazníci. SIPOC lze dále použít jako nástroj převodu požadavků zákazníka do požadavků na výstup posuzovaného procesu a jeho proměnných. Diagram SIPOC pomáhá jednak pochopit zkoumaný proces, dále pak vymezuje hranici pro pozdější komunikaci s řešitelským týmem nebo managementem [4, 11]. Příklad SIPOC diagramu je zobrazen na obr. 4.1.

Hlavní výhody a důležitost použití tohoto nástroje lze shrnout do těchto bodů [20]:

- SIPOC definuje začátek a konec procesu, tj. co do posuzovaného procesu patří a co už ne,
- poskytuje managementu, případně nadřízeným, jasný vhled do problému,
- usnadňuje komunikaci a přehlednost v řešitelském týmu,
- definuje plánu sběru dat.



Obr. 4.1 SIPOC diagram – podle [21].

Metodika tvorby SIPOC diagramu je popsána následovně [11,14]:

- nejprve je nutné ohraničit a definovat klíčové činnosti samotného procesu, jednotlivé kroky procesu jsou popsány v chronologické návaznosti ve třetím sloupci (střed diagramu),
- ve druhém kroku je nutné definovat klíčové výstupy procesu, tyto výstupy jsou zaznamenány ve čtvrtém sloupci, tj. napravo od popisu samotného procesu,
- následující krok je zaznamenávání do posledního sloupce, zde se definují zákazníci, kteří dostávají výstupy z procesu,
- čtvrtý krok doplňuje druhý sloupec, a sice vstupy do procesu, mající vliv na proces samotný,
- posledním krokem je identifikace a pojmenování dodavatelů již definovaných vstupů, tito dodavatelé jsou doplněni do prvního sloupce.

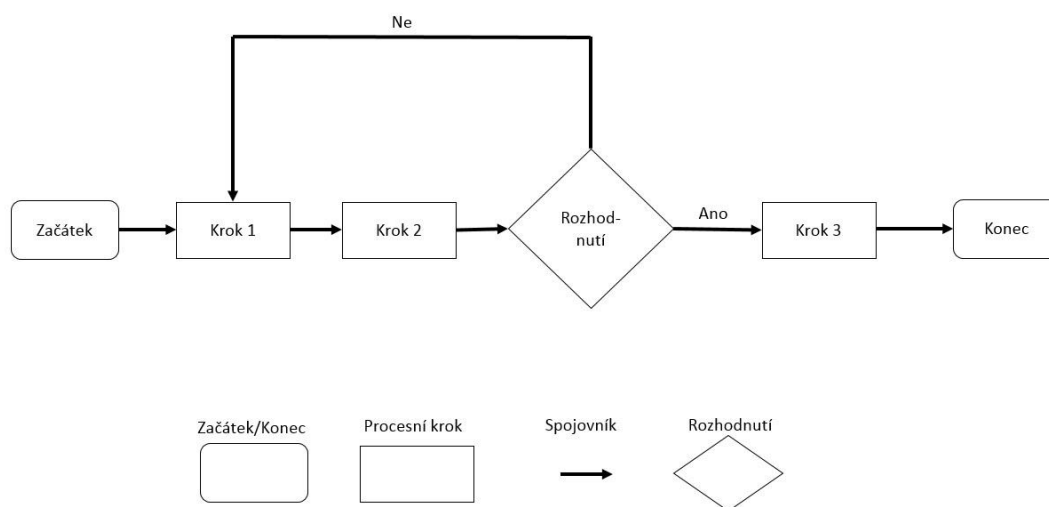
## 4.2 Procesní mapa – fáze Definovat

Jedná se o další nástroj mapování procesů, procesní mapa navazuje na SIPOC a detailněji rozebírá samotný proces, tj. středový sloupec z nástroje SIPOC [4,14].

Procesní mapa je grafické znázornění [14]:

- toku procesu,
- kroků v procesu,
- vstupů, výstupů a jednotlivých vztahů,
- opravných kroků.

Příklad procesní mapy je vyobrazen na obr. 4.2.



Obr. 4.2 Procesní mapa – podle [22].

Postup pro vytvoření procesní mapy k danému procesu je popsán následujícími aktivitami [4,11]:

- popsat všechny činnosti vyskytující se v procesu,
- zmapovat primární tok procesu,
- zmapovat alternativní toky,
- identifikovat a zaznamenat inspekční body.

Procesní mapa se doplňuje s nástrojem SIPOC [4].

### 4.3 Myšlenková mapa – fáze Definovat

Myšlenková mapa (tzv. *Thoughts map*) je jeden ze základních nástrojů Six Sigma. Nemá předepsanou podobu. Jedná se o dokument, který by měl být používán během celého řešení případové studie. Myšlenkovou mapu lze vytvořit v grafické nebo v tabulkové formě [14].

Myšlenková mapa slouží k organizaci nápadů, myšlenek, nezbytných nebo plánovaných akcí. Velmi často je vytvářena i jako kontrolní seznam výstupních bodů jednotlivých fází případové studie (projektu) [14].

Na základě kompletní znalosti zkoumaného procesu je literaturou doporučeno, především u montážních procesů vytvořit analýzu vad a jejich vlivu [14].



#### 4.4 Analýza vad a jejich vlivu (FMEA) – fáze Měřit

FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis* – analýza vad a jejich vlivu).

Metoda FMEA byla definována jako analytická metoda pro systémovou identifikaci možných vad a s tím související hodnocení rizik. Metoda FMEA se dělí na dvě skupiny [27]:

- vývojová FMEA (tzv. *Design FMEA*, časté označení literaturou je D-FMEA) se zaměřuje na analýzu produktu a snahu identifikovat potenciální rizika a kvalitativní vady na úrovni kompletního produktu i případných podsestav, cílem této analýzy je definovat a vzít daná rizika v potaz ještě během samotného vývoje produktu,
- procesní FMEA (*Process FMEA*, časté označení literaturou je P-FMEA) se zabývá možnými vadami během procesu výroby nebo montáže produktu, dále pak identifikací možných vad vzniklých nevhodným vývojovým řešením.

Samotný proces vytváření FMEA je totožný pro oba dva typy. Postup je definován následovně [27,11, 14]:

- v prvním kroku je nutné popsat procesní krok nebo vstup, ke kterému se bude popisovaný přístup vztahovat,
- následně je nutné identifikovat možné vady popisovaného vstupu, které mohou jakkoliv nastat, běžně je k jednomu vstupu definováno více vad,
- ve třetím kroku je do příslušného sloupce zaznamenáno, jaké má definované selhání vliv na zákazníka, dále pak je nutné popsat, co toto selhání (vada) může způsobit,
- ve čtvrtém kroku je nutno ohodnotit škálou 1-10 závažnost vady (proměnná S), dále pak pravděpodobnost výskytu vady (proměnná O), opět na stupnici 1-10 (10 je nejzávažnější, resp. nejpravděpodobnější výskyt), konkrétní stupnici popisuje tabulka Tab.4.1,
- v následujícím kroku se popisuje seznam současného monitorování a kontrol definované vady,
- seznam detekce (proměnná D) je nutné opět ohodnotit stupnicí 1-10, přičemž číslo 10 reprezentuje nulovou, resp. žádnou kontrolu,
- v sedmém kroku je nutné spočítat hodnotu míry rizika (tzv. „*risk priority number*“, zkráceně RPN), jeho hodnota je definovaná následovně:

$$RPN = S * O * D \quad (4.1)$$

kde:

RPN ... Míra rizika [-]

S ... Závažnost [-]

O ... Pravděpodobnost výskytu [-]

D ... Detekce [-]

- jakmile jsou definována všechna rizika, je nutné stanovit opatření pro nejkritičtější z nich, prvotně je nutné zabývat se body s RPN vyšším než hodnota 100,
- k těmto bodům je nezbytné přiřadit preventivní opatření a odpovědnou osobu,
- jakmile je preventivní opatření vykonáno, je nutné přepočítat RPN na základě přijatého opatření.

Pro funkční analýzu je nutné koordinovat všechny zainteresované osoby daného procesu a využít jejich znalosti, zkušenosti. Jen tak je možné sestavit funkční analýzu a předpovědět možná rizika. [27].

Příklad grafického podoby FMEA dokumentu je znázorněn na obr. 4.3.

Procesní krok/Vstup (Co je procesním krokem nebo objektem posuzování?)	Potenciální selhání (Co se může stát?)	Potenciální efekt selhání (Jaký je dopad na koncového uživatele pokud není předcházeno selhání)	S	Možné Příčiny (Co zapříčinilo selhání nebo defekt?)	O	Současná kontrola (Jaká je existující kontrola nebo prevence výskytu defektu?)	D	R P N	Doporučené akce (Jaké jsou akce k redukci RPN?)	Odpovědnost (Odpovědné osoby)	Vykonané akce (Jaké akce byly vykonané ke snížení RPN?)	S	O	D	R P N
								0							0
								0							0
								0							0
								0							0
								0							0
								0							0
								0							0
								0							0
								0							0
								0							0
								0							0
								0							0
								0							0

Obr. 4.3 FMEA formulář – podle [26].

Tab. 4.1 Kompletní stupnice pro tvorbu FMEA [14].

Hodnota	Závažnost	Pravděpodobnost výskytu	Detekce
1	Žádný efekt	Velmi nízká možnost výskytu; < 1 %	Procesní kroky k detekci jsou již nastaveny
2	Velmi malý defekt zpozorovaný pouze nejnáročnějšími zákazníky		
3	Malý defekt pozorovaný některými zákazníky	Nízká pravděpodobnost výskytu; 1-5 %	Minimálně jeden procesní krok k detekci je již implementován (např. kontrola detekující výskyt defektů)
4	Malý defekt pozorovaný většinou zákazníků		
5	Omezení sekundární funkce výrobku	Střední pravděpodobnost výskytu; 5-10 %	Alespoň jeden procesní krok k detekci je již implementován, ale až za místem defektu
6	Ztráta sekundární funkce výrobku		
7	Omezení primární funkce výrobku	Vysoká pravděpodobnost výskytu; 10-20 %	Žádný procesní nebo kontrolní krok není nastaven, je zde však možnost defekt identifikovat neformálním procesem (např. náhodným pohledem operátora)
8	Ztráta primární funkce výrobku		
9	Velmi vysoká závažnost; hrozící nebezpečí s varováním	Velmi vysoká pravděpodobnost výskytu; > 20 %	Žádný procesní, kontrolní krok nebo neformální postup, jak lze defekt identifikovat není implementován
10	Velmi vysoká závažnost; hrozící nebezpečí bez varování		

V mnoha případech a běžné procesní praxi lze použít zjednodušenou stupnici pro analýzu FMEA. Zjednodušená stupnice je kompromisem mezi detailním a komplexním pojetím analýzy [14]. Zjednodušenou stupnici popisuje tabulka Tab. 4.2.

Tab. 4.2 Zjednodušená stupnice pro tvorbu FMEA [14].

Hodnota	Závažnost	Pravděpodobnost výskytu	Detekce
1	Malé, nezávažné následky	Malá, nepodstatná pravděpodobnost výskytu	Kompletní, spolehlivá detekce
4	Středně závažné následky	Střední pravděpodobnost výskytu	Střední schopnost odhalení defektu
7	Závažnější následky	Zvýšená pravděpodobnost výskytu	Nízká pravděpodobnost odhalení
10	Velmi závažné následky	Vysoká pravděpodobnost výskytu	Žádná, případně velmi malá pravděpodobnost odhalení defektu

#### 4.5 Hlas zákazníka (VOC) – fáze Měřit

VOC je zkratka anglických slov *Voice Of Customer* tzn. hlas zákazníka. Tento nástroj je používán ve fázi měření. Cílem tohoto nástroje je [11]:

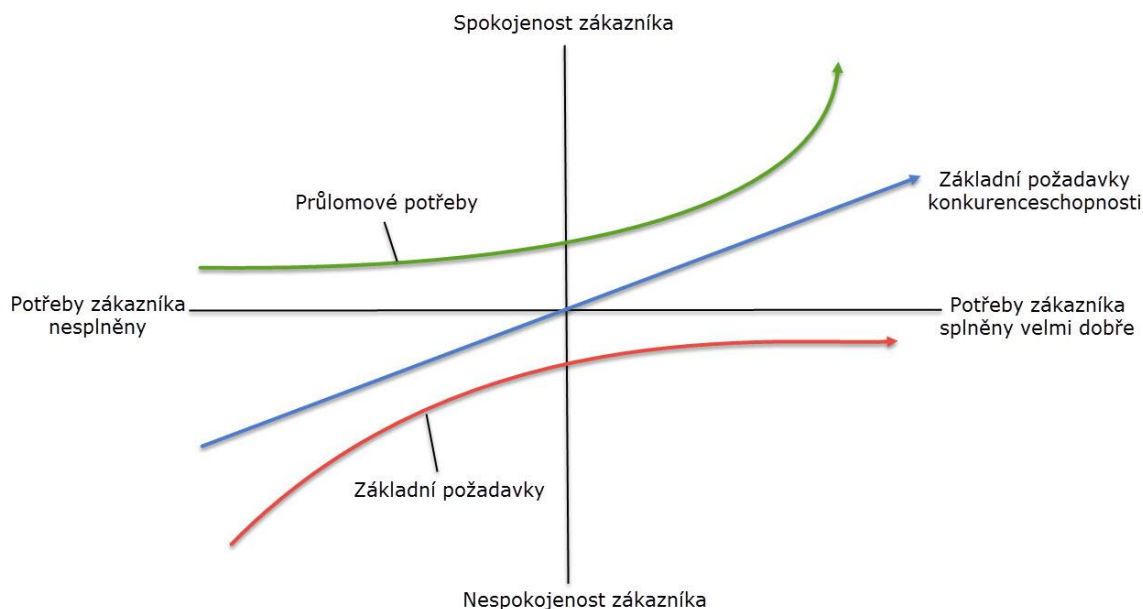
- zjistit o co mají zákazníci zájem (funkce, produkty, procesní aplikace, dokumentace, aj.),
- stanovení priorit s požadavky zákazníků,
- stanovit, které požadavky lze splnit se ziskem.

Podobně jako VOC může být aplikováno i VOS (*Voice Of Sales*, tzn. hlas prodejců), případně VOE (*Voice Of Employee*, tzn. hlas zaměstnanců). Tyto metody jsou založeny na stejném principu jako VOC s rozdílem jiné cílové skupiny [4].

Metody pro sběr VOC (hlas zákazníka) jsou definovány následovně [4,11,37]:

- rozhovory – jedná se o základní metodu sběru dat přímou interakcí se zákazníkem, výhodou rozhovorů je přímý osobní kontakt se zákazníky a snižující se možnost nedorozumění,
- průzkumy – jedná se o kvantitativní metodu, nejčastěji s cílem ověřit/potvrdit domnělou teorii, případně je metoda používána k identifikaci nejdůležitějších zákaznických témat, průzkumy jsou vyhodnocovány statisticky, tj. nikoliv dle individuálních preferencí,

- cílové skupiny – jedná se o efektivnější metodu sběru dat, než jsou rozhovory, obvyklé skupiny v počtech 7-13 účastníků zahrnují představitele různých zákaznických segmentů, výhodou této metodiky je, že se skupiny mohou doplňovat, výstup je tedy přesnější, než z individuálního rozhovoru,
- pozorování přímého použití – jedná se o nejefektivnější metodu VOC, v reálném použití je možné ověřit výstupy z předchozích analýz, pozorovat správné pochopení instrukcí, aj., ne vždy je však tato metoda aplikovatelná vzhledem k dostupnosti/přístupu k zákazníkovi (uživateli),
- zákaznická podpora – klasická metoda, aplikovaná po desetiletí je již standardem i přesto, že je tato služba nabízena zákazníkům dlouho, nejedná se o příliš oblíbenou a efektivní metodu sběru dat, někteří zákazníci však mohou přinést pádné argumenty a požadavky, s nimiž je nutné počítat pro vývoj nových, případně změnu stávajících produktů nebo procesů,
- Kano analýza – jedná se o techniku, která umožňuje pochopit rozdílné stupně hodnoty, jež zákazníci přiřazují různým vlastnostem výrobku nebo procesu, na základě Kano analýzy jsou definovány zásadní parametry pro řízení kvality, požadavky zákazníků jsou rozčleněny do třech kategorií: základní požadavky (nutnosti), požadavky konkurenceschopnosti (postačující), průlomové potřeby (neočekávané charakteristiky, které přináší dodatečný kredit), konkrétní znázornění je na obr. 4.4.



Obr. 4.4 Graf Kanova modelu.

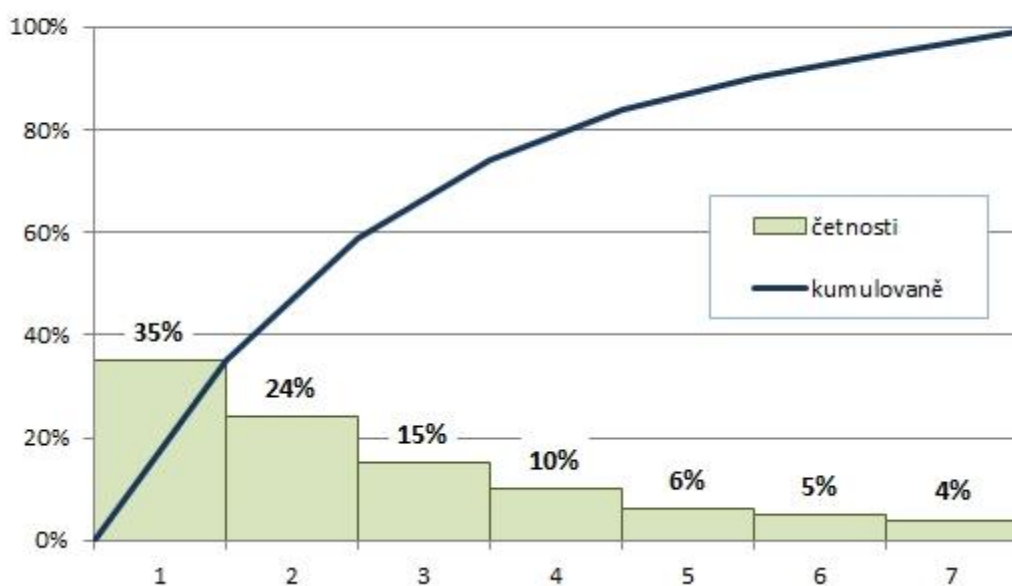
#### 4.6 Paretovy diagramy – fáze Měřit, Analyzovat

Ve fázi měření a analýzy je literaturou doporučeno použít Paretových diagramů. Paretovy diagramy jsou typy sloupcových grafů, u kterých horizontální osa reprezentuje různé kategorie (poruchy, chyby, výpadky, činnosti, atd.). Vertikální osa značí počet nebo podíl chyb v procesu, případně dopad těchto chyb. Uspořádání sloupců je od největšího po nejmenší a určuje tak, které kategorie mají největší vliv na zkoumaný problém. V Paretových diagramech můžeme pozorovat dva typy efektu [11]:

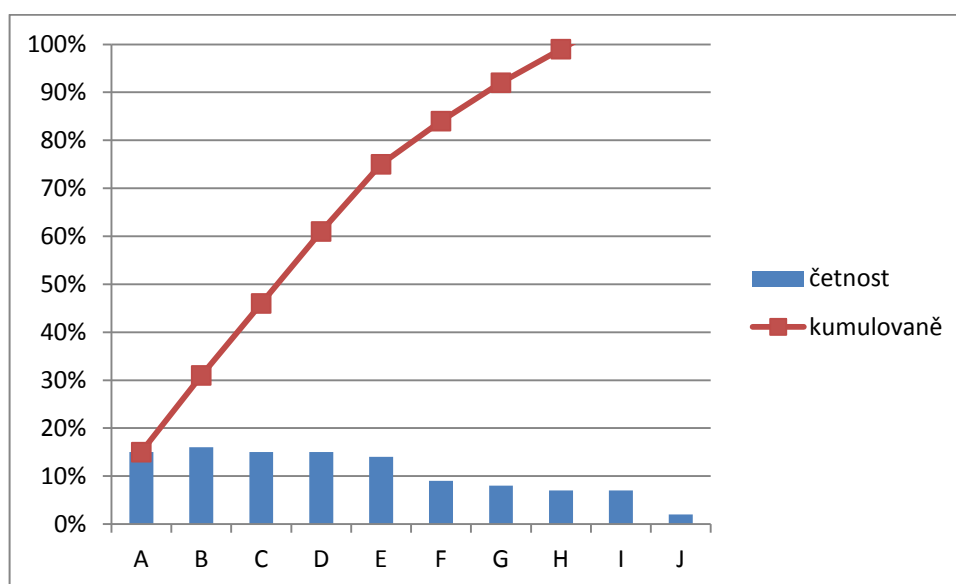
- diagram s Paretovým efektem – tento typ značí, že pouze několik kategorií má přímý dopad na problém, nejčastěji 20% položek je odpovědně za 80 % výpadků (dopadu na proces),
- diagram bez Paretova efektu – tento typ grafu sděluje, že žádná z identifikovaných příčin není významnější než jakákoliv jiná, v tomto případě je doporučeno porovnat dopad jednotlivých příčin na proces, míra dopadu (finanční, časový) může být u těchto příčin rozdílná.

Příklady Paretových diagramů jsou znázorněny na obr. 4.5 a 4.6

#### Paretův diagram - ukázka



Obr. 4.5 Diagram s Paretovým efektem [44].



Obr. 4.6 Diagram bez Paretova efektu – podle [11,45].

#### 4.7 Stabilita procesu GAGE R&R – fáze Měřit, Analyzovat

*Gauge R&R* je systém vyhodnocení dat, který zkoumá opakovatelnost a reprodukovatelnost měřicího systému. Systém bere v potaz variabilitu způsobenou měřidlem, operátorem a jeho interakcí s měřidlem [4,11]. Stabilita procesu *Gauge R&R* se používá se fázi měření a analýzy [11].

Opakovatelnost je vztahována k vnitřní variabilitě měřicího systému. Jedná se o variabilitu, která je prováděna opakovatelně za zdánlivě stejných podmínek, do kterých patří [4,11]:

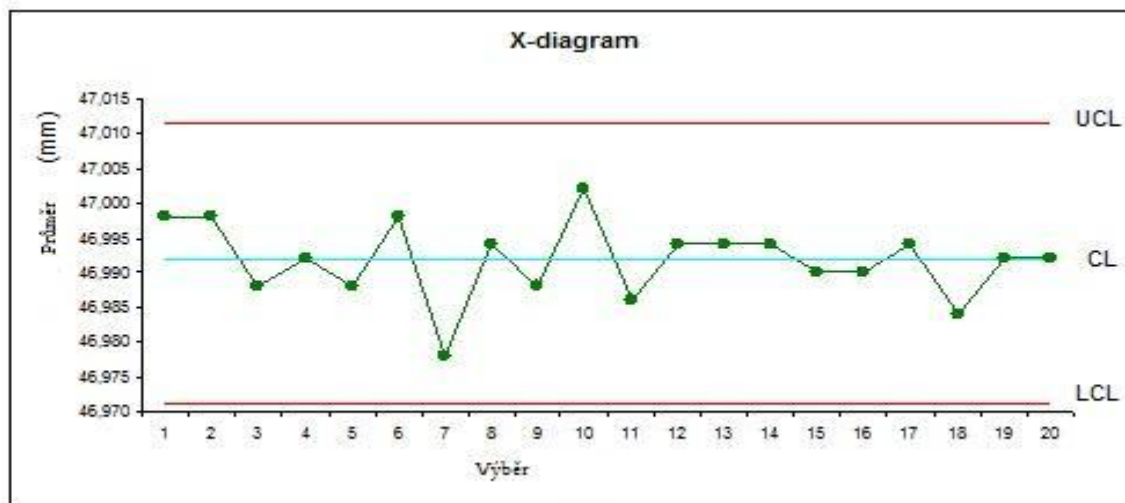
- měření jsou prováděna stejným člověkem,
- měří se stejná věc (proces),
- stejná charakteristika,
- stejný nástroj,
- stejné nastavení,
- stejné okolní podmínky.

Reprodukovatelnost je variabilita v průměru měření, které provedli různí operátoři pomocí stejných nástrojů za stejných podmínek při měření stejného procesu, případně výrobku. Faktory ovlivňující reprodukovatelnost [4,11]:

- různá osoba vykonávající měření,
- stejný měřicí element,
- stejná charakteristika měření,
- stejný nástroj,
- stejné nastavení,

- stejné okolní podmínky.

Opakovatelnost i reprodukovatelnost je následně popisována pomocí regulačních diagramů [11]. Na obr. 4.7 je vyobrazen regulační diagram.



Obr. 4.7 Regulační diagram – podle [36].

Samotný graf obsahuje tři základní parametry [14]:

- průměrnou hodnotu CL znázorněnou středovou čarou,
- horní mez UCL definovanou, jako 3 standardní odchylky nad průměrnou hodnotou,
- dolní mez LCL definovanou, jako 3 standardní odchylky pod průměrnou hodnotou.

V diagramu lze následně poznat, zda je proces ovlivněn náhodnou, případně speciální příčinou. Pokud ano, je nutné výskyt této příčiny analyzovat a odstranit.

#### 4.8 Způsobilosti procesu – fáze Analyzovat

Způsobilost procesu je dalším z nástrojů interpretujícím naměřená data, použití je určeno pro fázi analýzy [11].

Způsobilost procesu je definována dvěma parametry porovnávajícími variability procesu vůči procesní specifikaci [14].

Parametr  $C_p$  [-] porovnává rozpětí hodnot datového souboru s šířkou tolerančního pole [14].

Výpočet parametru  $C_p$  je definován následovně [14]:



$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (4.2)$$

Parametr Cpk [-] porovnává šířku a rozptyl datového souboru vzhledem k specifikaci, horní a dolní mezi [14].

Výpočet parametru Cpk je definován rovnicí [14]:

$$C_{pk} = \frac{\min(USL - \bar{X}, \bar{X} - LSL)}{3\sigma} \quad (4.3)$$

Tab. 5 Hodnoty parametrů Cp a Cpk v průmyslové praxi [14].

Definice / Hodnota	Hodnoty Cp	Hodnoty Cpk
Nestabilní proces	$C_p < 1.0$	$C_{pk} < 1.0$
Průmyslový standard	$C_p = 1.0$	$1.5 > C_{pk} > 1.0$
Six Sigma cíl	$C_p = 2.0$	$C_{pk} = 1.5$

## 4.9 5S – fáze Zlepšit

5S je zřejmě nejznámější nástroj Six Sigma, kterým se navrhuje zlepšení v příslušné fázi DMAIC metodologie. Jedná se o velmi jednoduché metody eliminující plýtvání a nesrovnalosti v pracovním prostředí. Účelem je vytvoření čistého, bezpečného a přehledného pracovního prostředí [11, 30]. Na obr. 3.7 je vyobrazeno pracoviště, kde byla metoda 5S implementována.

Účel a metoda samotná je definována takto [11]:

- metoda 5S umožňuje nezávislému pozorovateli na první pohled rozlišit normální a nestandardní podmínky na pracovišti,
- 5S je základem neustálého zlepšování,
- 5S je systémový přístup ke zlepšení pracovního prostředí, procesů, produktů.

Pojmenování metody 5S vzniklo z japonštiny, má však anglický a český překlad, konkrétní vazby a význam viz. Tab. 4.3.

Tab. 4.3 Význam a pojmenování jednotlivých pilířů metody 5S [11,30].

	Japonština	Angličtina	Čeština	Význam
1S	<i>Seiri</i>	<i>Sort</i>	Tříd'	Odstranění nepotřebných položek, potřebné položky učinit viditelnými
2S	<i>Seiton</i>	<i>Set in Order</i>	Nastav pořádek	Uspořádat potřebné položky tak, aby byly rychle a lehce dostupné
3S	<i>Seiso</i>	<i>Shine</i>	Uklid'	Uklizení pracovního prostředí
4S	<i>Seiketsu</i>	<i>Standardize</i>	Standardizuj	Standardizování prvních 3S pilířů
5S	<i>Shitsuke</i>	<i>Sustain</i>	Zachovej	Respektovat a vykonávat zavedené procedury

Příklad implementace 5S na pracovišti v průmyslové výrobě může vypadat, tak jak jej demonstruje obr. 4.8. Příklad 5S ve R&D praxi lze definovat, jako implementaci pravidel v elektronické struktuře dokumentace. [14]



Obr. 4.8 5S na pracovišti [31].

#### 4.10 POKA YOKE – fáze Zlepšit

Poka Yoke je systém zabezpečení proti chybám a předcházení chybám dříve, než by mohly nastat. Jedná se o část systému Jidoka, která má za cíl zamezit vzniku defektu a zastavit proces jakmile k defektu dojde [11,34].

Systém Jidoka byl použit, jako výchozí filozofie pro logistické řízení JIT [35].

Poka Yoke je preventivní přístup k chybám, který nedovoluje jejich vznik, případně vykazuje úspěšnost 100% odstranění chybovosti [11].

Obr. 4.9 znázorňuje přípojky v nemocničním prostředí. Systém znemožňuje chybné připojení.



Obr. 4.9 Poka Yoke přípojky [33].

#### 4.11 FIFO – fáze Zlepšit

FIFO je označení pro systém řízení zásob. Český význam zkratky lze přeložit jako: První dovnitř, první ven (v originále tzv. „*first in, first out*“). V praxi označuje kontrolované zpracování zásob a efektivní distribuci již hotových výrobků [32]:

- dříve dodané je prioritně zpracováno,
- dříve vyrobené je prioritně prodáno zákazníkovi.

V automobilovém průmyslu je žádoucí řídit materiál, dle tohoto pravidla. Vzhledem k často se vyskytujícím revizím a změnovým řízením na komponentech (vstupním materiálu, případně finálních sestavách) [32].

#### 4.12 KANBAN – nástroj fáze Zlepšit

Kanban je systém bezzásobové technologie, který byl vyvinut japonskou společností *Toyota Motor Company* v padesátých letech minulého století, původně jako součást TPS (*Toyota Production System*). Následovalo rychlé rozšíření do ostatních zemí pod názvem Kanban, což v doslovném překladu znamená karta, štítek nebo také lístek [38,39,40].

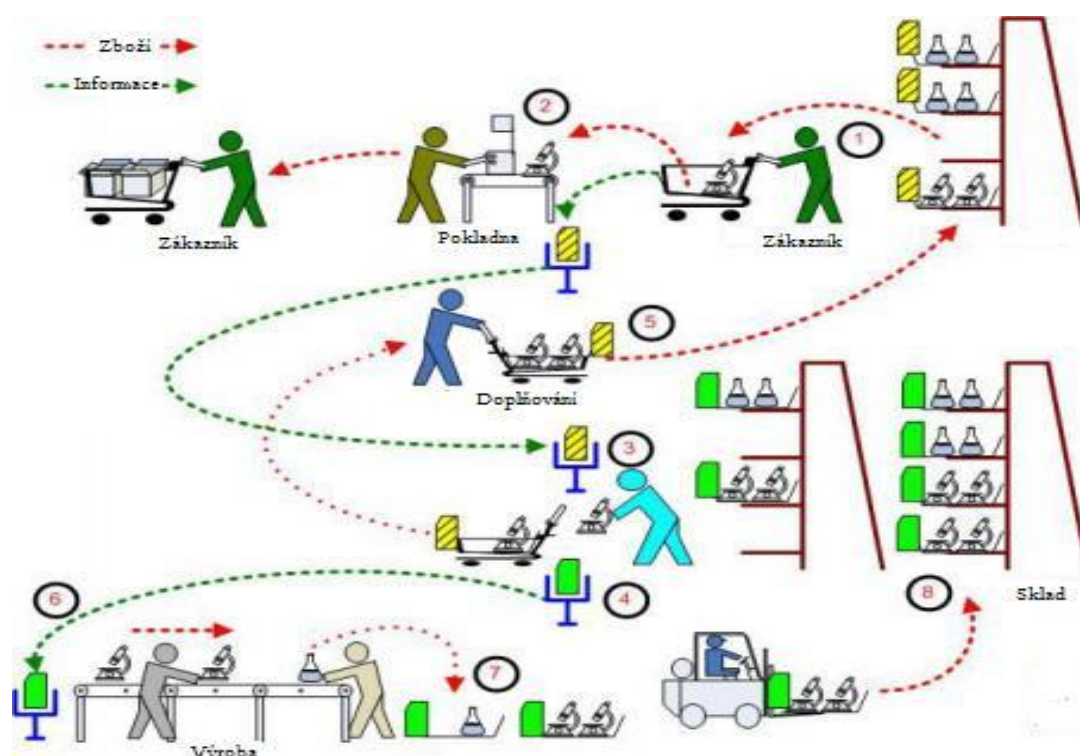
Filozofie řízení Kanban je založená na principu, že díly jsou do výroby dodávány přesně v okamžiku, kdy jsou potřeba. Systém Kanban lze použít pro jakýkoliv výrobní proces, který se v čase opakuje [40].

Základní princip řízení je převzat z činnosti amerických supermarketů, kde každé zboží na sobě mělo přidělanou cedulku (štítek), tento štítek byl u pokladny odebrán a odeslán do skladu. Skladem obdržený štítek byl signálem pro doplnění produktu do regálu. V případě, že sklad už nedisponoval žádným zbožím k doplnění, byly karty odeslány do výroby, tak aby bylo zboží v požadovaném počtu vyrobeno a následně doplněno do regálů [39].

Systém Kanban je koncipován jako tzv. „výroba na výzvu“, tento systém umožňuje redukovat zásoby, aniž by docházelo k prostojům a čekání na materiál [39]. Na obr. 4.10 je vyobrazen systém fungování Kanbanu.

Pro aplikaci technologie Kanban, je nutné splnit následující předpoklady [39]:

- proškolit a motivovat personál,
- vyrábět opakovaně stejný typ produktů,
- znát kapacity dodavatelů a zákazníků,
- připravit personál na rychlou reakci, podle zákaznických požadavků na potřebu materiálu,
- kontrolovat kvalitu přímo na pracovišti,
- schopnost rychle odstranit poruchy přímo na pracovišti,
- připravenost management delegovat svoje pravomoci,
- rozvržení výrobní haly je vhodné pro zřízení kanbanových stanovišť.



Obr. 4.10 Princip fungování Kanbanu – podle [41].

Kanban ve svém systému využívá materiálové karty. Kanbanová karta je základní identifikační prvek určitého množství dílů, karty (štítky) jsou připojeny k přeprávkám. Obecně existují dva typy karet: pohybové a výrobní [38].

Kanbanová karta obsahuje především tyto informace [38]:

- název dílu,
- číslo dílu,
- revize dílu,
- typ palety, množství na paletě,
- skladové místo,
- čárový kód.

Příklad kanbanové karty je vyobrazen na obr. 4.11.



Ze skladu <b>I01</b>	Počet kartiček: <b>1/2</b>	Adresa pozice: <b>B-R</b>
 00010069D#P02#PSA13023##1		
Název: <b>KNOFLIK DOLNI</b>		
Číslo dílu: <b>00010069D</b>		
Balení: <b>1xB2</b>	Typ skladu: <b>P02</b>	Linka: <b>13023</b>
	Čárový kód: <b>PSA13023</b>	
Počet kusů v balení: <b>8000</b>	Dodavatel: <b>A107</b>	
Čárový kód:	<b>TRW Automotive GmbH</b>	
		

TRW Czech s.r.o. Syst. balení: Hlavní 12, Stara Boleslav 250 02 Vytištěno 21.12.07 v 16:17

Obr. 4.11 Příklad kanbanové karty [42].

Při implementaci kanbanového systému řízení musí být pro každý materiál definovány dvě kalkulace [43]:

- čas doplňování,
- počet kanbanových karet.

Čas doplnění kanbanu je definován jako součet všech dílčích časů, kterými materiál musí projít, než se na linku dostane v kanbanové bedně, označen kartou [43]. Výpočet času potřebného k doplnění materiálu je popsán rovnicí 4.4.

$$RT_{LOOP} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 \quad (4.4)$$

Kde:

$R_1$  [min] – je čas od spotřebování kanbanové jednotky po přesun karty na kanbanovou tabuli [43],

$R_2$  [min] – definován jako čekací čas na přípravu 1 kanbanové jednotky [43],

$R_3$  [min] – určuje čas potřebný pro přípravu 1 nové kanbanové jednotky [43],

$R_4$  [min] – je definována jako časová ztráta přechodu z jedné kanbanové jednotky na následující [43],

$R_5$  [min] – výrobní čas jedné kanbanové jednotky [43],

$R_6$  [min] – čas přepravy připravené kanbanové jednotky do výrobního regálu (do místa spotřeby) [43],

$RT_{LOOP}$  [min] – celkový čas potřebný k doplnění kanbanu [43].

Výpočet nezbytného počtu kanbanových karet je popsán výpočtovými vztahy 4.5-4.11 [43]:

$$N = R_f + L_f + W_f + S_f \quad (4.5)$$

Faktor R [-] pokrývá zákaznickou spotřebu během přípravy a doplňování jedné kanbanové jednotky [43],

Faktor L [-] reprezentuje velikost dávky jednoho kanbanového množství a nastavuje ho tak o čas čekání [43],

Faktor W [-] pokrývá výkyvy v zákaznické spotřebě, pokud v kalkulaci vyjde záporná hodnota faktoru W, je nutné brát hodnotu 0 [43],

Faktor S [-] je pojistný element a pokrývá výskyt případných rizik v systému, je definován součtem interního kolísání spotřeby a výkonu, dále pak kolísání výkonu a spotřeby na straně zákazníka [43].

Výpočtové vztahy pro jednotlivé faktory jsou definovány následovně [43]:

$$R_f = \frac{RT_{LOOP}}{(t_i * n)} \quad (4.6)$$

$$L_f = \frac{m}{n} \quad (4.7)$$

$$W_f = \left( \frac{wa}{n} \right) - R_f - L_f \quad (4.8)$$

$$S = S_1 + S_2 \quad (4.9)$$

$$S_1 = \frac{(wax - wa)}{n} \quad (4.10)$$

$$S_2 = \left( \frac{wa}{n} \right) * dev\% \quad (4.11)$$

kde,

N [-] – je počet kanbanových karet,

RT<sub>LOOP</sub> [min] – celkový čas doplňování,

t<sub>i</sub> [min\*ks<sup>-1</sup>] – takt výrobní linky,

n [-] – počet kusů v kanbanové jednotce,

m [-] – dávka jednoho kanbanu

wa [-] – množství vybírané z kanbanu během operace doplňování,

wax [-] – nadstavené vybírané množství během operace doplňování (doplňovací operace se prodlouží),

dev% [%] - odchylka mezi plánovaným a skutečně spotřebovaným množstvím.

#### 4.13 Řídící plán – fáze Řídit

Řídící plán (tzv. *Control plan*) je dokument, který definuje, co sledovat, kdo bude sledovat, jak odhalit defekty, jak často provádět měření, kdy, kdo a jak bude reagovat. Tento nástroj se používá v poslední fázi DMAIC metodologie. Význam řídicího plánu je následující [4,14]:

- definuje signály, jak rozpoznat defekt v procesu,
- definuje akční plány,
- určuje vhodné osoby, odpovídající za definované akce.

Six Sigma ve své metodologii používá řídicí plány pro udržení dosahování produktových, případně procesních cílů a omezení variability procesu. S pohledu DMAIC přístupu jsou řídicí plány vytvářeny v poslední fázi řešení [4,14]. Příklad řídicího plánu je vyobrazen na obr. 4.12.

Obecný postup pro tvorbu řídicího plánu lze definovat následovně [14]:

- popsat kontrolní subjekt,
- poskytnout instrukce, jak odhalit defekt,
- definovat instrukce k měření,
- vytvořit akční plán (včetně odpovědných osob).

Procesní krok	Kontrolovaný parametr (vstup nebo výstup)	Kontrolní metoda	Odpovědnost	Specifikovaný limit/požadavek	Akce

Obr. 4.12 Formulář řídicího plánu – podle [29].



## 5 APLIKACE

### 5.1 Představení společnosti

Aplikovaná část této diplomové práce vznikla ve spolupráci se společností KAMPOS, s.r.o. Kuřim. Společnost KAMPOS, s.r.o. vznikla v roce 1998 a od této doby se profiluje jako přední montážní společnost a dodavatel elektronických komponent pro letecký a automobilový průmysl. Od roku 2000 společnost zavedla divizi montáže konektorů a elektrovýroby. Hlavními zákazníky této divize jsou společnosti z oboru automobilového a telekomunikačního průmyslu. Společnost sídlí v kuřimském logistickém areálu o rozloze 56 000m<sup>2</sup>. Společnost KAMPOS, s.r.o. je držitelem certifikátu řízení jakosti EN ISO 9001:2000, platnost certifikátu se jí daří pravidelně obnovovat. KAMPOS s.r.o. zákazníkům poskytuje tyto služby [23]:

- pronájem logistických a skladových prostor,
- dodávky obalových materiálů,
- montáž konektorů a kompletování kabelových svazků,
- výroba průmyslových LED svítidel,
- výrobu podsedáků Sitcard.

Divize montáže konektorů a elektrovýroby aplikuje přísnější požadavky na sledování kvality a evidování jednotlivých šarží, dle standardu v automobilovém průmyslu. V případě, že dojde ke zjištění závady v poli (poté co je automobil smontován, případně prodán koncovému zákazníkovi) musí být jasná dohledatelnost všech smontovaných kusů z daného dne, případně dané výrobní dávky [24].

Montáž kabelových svazků zahrnuje lisované a pájené spoje, cínování vodičů. Technická vybavenost firmy umožňuje poskytovat zákazníkům následující služby [25]:

- stříhání a odizolování vodičů s průřezem 0,05-6 mm<sup>2</sup>,
- stříhání vodičů o délkách 1-200 000 mm,
- odizolování jednotlivých stran v délkách 0-99,9 mm, u plochých kabelů v šířce do 12 mm probíhá odizolování v minimální délce 50 mm,
- osazování vodičů širokým spektrem konektorů, případně kabelových ok, dále pak různých koncovek včetně povrchových pokovení,
- montáže konektorů a pojistkových skříněk,
- montáže kabelových svazků pro spotřební, telekomunikační, automobilový průmysl (motorový i interiérový prostor),
- kompletace plastových konektorů pro kabelové sestavy.

Společnost je dále schopna poskytovat flexibilní třídící služby i přímo v sídle zákazníka [24].

## 5.2 Popis problému ve výrobě

Společnost KAMPOS, spol. s r. o. mi umožnila zpracovat analýzu procesu přípravy materiálu pro výrobní linku, kde se firma aktuálně potýká se ztrátami efektivity a vícepracemi, tedy s faktory plýtvání.

Výrobní hala montáže konektorů a elektrovýroby je se 30 montážními pracovišti zásobena z centrálního skladu, který připravuje a zásobuje montážní linky materiálem. Výroba jednotlivých finálních produktů je plánovaná, dle odvolávek zákazníka a vyrábí se v přesném počtu, tj. kolik kusů zákazník objedná, tolik KAMPOS, spol. s r. o. smontuje a dodá. Firma neskládá žádnou hotovou výrobu, pouze surový materiál.

Problémem je, že obalové množství vstupních materiálů je rozdílné, než jsou odvolávky zákazníků. Operátoři tedy po dokončení zakázky vrací otevřené balení vstupních komponent zpět do skladu. Ve skladu se poté na jednotlivých skladových místech hromadí palety se smíšeným materiálem v rozdílném počtu kusů v balení. Při další montáži stejných finálních produktů si operátoři objednají opět kompletní (homogenní) palety, které nezpracují kompletně, přibývá tak zbytků, které se vrací zpět do skladu. Toto jednání operátorů má níže popsané důvody:

- operátor je placený od výkonu a splnění norem -> čím víc vyrobí, tím více dostane peněz,
- operátor musí každou novou šarži zaevidovat a oddělit vzhledem k případné sledovatelnosti a dohledatelnosti (tzv. *traceability*) finálních produktů -> operátor tím ztrácí pro něj/ní důležitý čas, který by mohl proměnit v montáž finálních produktů a získat tak větší odměnu,
- nadměrná manipulace s materiálem, kterou operátoři vyhodnocují jako zbytečnou a která jde na úkor výrobního času.

Vzhledem ke zmíněné potřebě automobilového průmyslu mít veškerou výrobu sledovatelnou, nelze ve skladu jednotlivé šarže dílů míchat dohromady a uměle vytvářet homogenní palety vstupního materiálu. Dalším požadavkem zákazníka je dodržování FIFO. Pro nadměrnou manipulaci a třídění materiálu musela firma najmout nového pracovníka.

Zmíněný problém stojí firmu měsíčně vícenásobné finanční, personální a časové charakteru. Konkrétní vyčíslení je podrobně zpracováno v příslušných kapitolách.

Tento problém také zvyšuje riziko případných chyb a reklamací od zákazníků. Dalším negativním faktorem je nepřehlednost a nadměrné plnění skladu nezpracovanými komponenty.

Pro řešení tohoto problému je ověřována aplikovatelnost metodologie DMAIC s důrazem na co největší eliminaci faktorů plýtvání.

### 5.3 Cílový stav

Cílem je analyzovat výrobní problém a navrhnout jedno, či více možných řešení, které v konečném důsledku sníží náklady na proces.

### 5.4 Řešení pomocí DMAIC

Pro řešení popsaného problému byla na základě rešerše literatury vybrána metoda DMAIC, která je v metodologii Six Sigma využívána, jako nástroj pro zlepšení charakteristik výrobků nebo výrobních, logistických, či administrativních procesů.

### 5.5 Definování procesu

V prvním kroku DMAIC řešení se studie zabývá definováním a vymezením samotného procesu, který následně nastavuje.

Jako první je zmapován samotný problémový proces pomocí nástroje SIPOC, který definuje všechny faktory, které přípravu materiálu pro výrobu ovlivňují. Dále pak požadavky na proces od interních zákazníků a požadavky vstupujících faktorů. Na obr. 5.1 je vytvořený SIPOC diagram.

Proces:		Příprava materiálu pro výrobu		Vlastník procesu:		Logistické oddělení	
Dodavatelé (Poskytující potřebné zdroje)		Vstupy (Zdroje požadované procesem)		Výstupy (Doručené procesem)		Zákazníci (Všichni kdo obdrží výstupy procesu)	
		<b>Požadavky:</b>				<b>Požadavky:</b>	
Dodavatelé materiálu	Komponenty jsou skladem	V pravý čas V přesném množství	Příjem materiálu do skladu	Připravený materiál pro výrobní linku	Kvalita V pravý čas Přesné množství	Výrobní linka	
Personální oddělení	Personál (skladníci, navažeči)	Zaškolení Dostupnost	Příprava materiálu pro výrobu	Nezpracovaný materiál	Minimální množství Minimální prostoje	Výrobní linka	
K2	Odvolávky v MRP	Přesnost V pravý čas	Zaskladnění nezpracovaného materiálu	Kontrola vráceného množství	Přesnost Minimální strávený čas	MRP - K2 Management	
K2	Funkcí MRP systém	Spolehlivost		Zmetky	Minimální množství	Kvalita	

Obr. 5.1 Analýza procesu ve společnosti Kamos.

Pro všechny kroky řešení je zpracována myšlenková mapa, která funguje i jako kontrolní seznam aktivit pro jednotlivé body DMAIC řešení.

Otázky byly definovány, tak aby se držely linie vymezeného procesu a analyticky přistupovaly k řešení. Na obr. 5.2 je vyobrazena myšlenková mapa pro řešený problém.

Otázky	Je známa odpověď? A pro Ano, N pro Ne.
<b>Define (Definovat)</b>	
Kdo jsou zákazníci?	A
Co zákazníci od procesu potřebují?	A
Jak lze zjistit, zda bylo dosaženo úspěchu?	A
Kdo jsou zainteresované strany	A
Byla tato analýza provedena už v minulosti?	A
Co je problémem?	A
<b>Measure (Měřit)</b>	
Je proces pochopen?	A
Jaká měření jsou potřeba?	A
Jaký je aktuální stav procesu?	A
Je navrhovaný měřicí systém vhodný?	A
<b>Analyze (Analyzovat)</b>	
Jaký faktor má největší dopad na výstup?	A
Vykazuje proces stabilitu?	A
Jaké jsou chyby v procesu a co je zpřičňuje?	A
<b>Improve (Zlepšit)</b>	
Jaké změny by měly být zavedeny?	A
Jak bude procesní změna komunikována?	A
Kdo musí o těchto změnách vědět?	A
<b>Control (Řídit)</b>	
Je možné dosahovat dlouhodobých zisků s navrhnutým řešením?	A
Jak proces porovnávat?	A
Kdo je odpovědný za udržitelnost procesu v čase?	A

Obr. 5.2 Myšlenková mapa s kontrolním seznamem otázek.

Konkrétní vymezení problému po diskuzi s vedoucí logistiky a ředitelem výroby společnosti Kampos, s. r. o. je následující:

- společnost musela na zvýšenou potřebu třídících a skladovacích operací přijmout nového pracovníka, který vícepracemi stráví v průměru 5,5h denně. Tato skutečnost bude ověřována prvním typem měření,
- hodinová mzda třídícího pracovníka je 150 Kč za hodinu,
- špatně tříděný materiál generuje průměrně 3 reklamace ročně, každá zákaznická reklama firma stojí 20 000 Kč,
- zbytkový materiál zabírá 40 palet týdně, 1m<sup>2</sup> skladových prostor stojí 1 400 Kč ročně. 40 paletových míst je maximum, kde může být zbytkový materiál umístěn.

Podle získaných dat firma ročně ztrácí následující objem finančních prostředků:

$$A = N * t * c = 250 * 5,5 * 150 = 206205 \text{ Kč} \quad (5.1)$$

$$C = n * h = 3 * 20000 = 60000 \text{ Kč} \quad (5.2)$$

$$L = m * S_{\text{paleta}} * v = 40 * 0,96 * 1400 = 53760 \text{ Kč} \quad (5.3)$$

$$CN = A + C + L = 319965 \text{ Kč} \quad (5.4)$$

kde,

A [Kč] jsou náklady na práci skladníka,

C [Kč] jsou náklady na reklamace,

L [Kč] jsou náklady na skladování,

CN [Kč] jsou celkové náklady zkoumaného procesu,

N [-] je počet pracovních dní v roce,

t [hod.] čas strávený vícepracemi za den,

c [Kč] hodinová mzda včetně odvodů,

n [-] počet reklamací,

h [Kč] náklady na jednu reklamaci,

m [-] množství palet týdně,

$S_{\text{paleta}}$  [m<sup>2</sup>] výměra jedné EUR palety,

v [Kč] cena jednoho 1m<sup>2</sup> skladových prostor za rok.

Celkem tedy firma na neefektivitě procesu ztrácí 319 965 Kč ročně.

Doposud tento proces nebyl podroben žádné interní nebo externí analýze. Tato studie tak činí poprvé.

## 5.6 Měření procesu

V definovací fázi byla provedena kompletní identifikace problému v aktuálním procesu. Ve druhé fázi DMAIC přístupu je měřena konkrétní výkonnost procesu a jsou identifikovány kritické parametry procesu.

V této fázi bylo nutné problémy v procesu kvantifikovat. Byly proto identifikovány dva klíčové typy měření:

- první měření mapuje veškeré aktivity skladníků během pracovního dne, tyto aktivity a jejich časová náročnost byla denně sledována a zapisována do připraveného archu (viz. obr. 5.3), cílem tohoto měření bylo zjistit aktivity, které jsou pro pracovníky časově nejnáročnější, tj. trvají nejdéle. Tyto činnosti jsou tedy pro firmu nejdražší, měření probíhalo dva týdny, s vedením společnosti bylo domluveno, že dvoutýdenní sledování jednotlivých činností v procesu poskytne reprezentativní vzorek,

Aktivita	1. Den	2. Den	3. Den	4. Den	5. Den	6. Den	7. Den	8. Den	9. Den	10. Den
Příprava materiálu pro linku										
Vyskladnění										
Transport materiálu										
Třídění										
Přepočítání nespotřebovaných kusů										
Systémový zápis (PC)										
Čekání na materiál										
Manipulace s materiálem ve skladu (paletový vozík, VZV)										
Ostatní										

Obr. 5.3 Záznamový arch pro měření činností.

- druhým typem měření bylo definování kritických materiálů, se kterými má společnost největší problémy a časové prostoje s vychystáním, tříděním, zaskladněním, tyto materiály byly zaznamenány do druhého archu (viz. obr 5.4), kritické materiály byly sledovány po dobu sedmi dní.

Označení tříděného materiálu v rámci dne	1. Den	2. Den	3. Den	4. Den	5. Den	6. Den	7. Den

Obr. 5.4 Záznamový arch pro identifikování kritických materiálů.

Během dvoutýdenního měření byly naměřeny hodnoty (viz. Obr. 5.5 a Obr. 5.6), číselné vyjádření označuje čas v minutách.

Aktivita	1. Den	2. Den	3. Den	4. Den	5. Den	6. Den	7. Den	8. Den	9. Den
Příprava materiálu pro linku	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Vyskladnění	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Transport materiálu	90	90	90	90	90	90	90	90	90
Třídění	300	300	300	300	300	300	300	300	300
Přepočítání nespotřebovaných kusů	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Systémový zápis (PC)	60	60	120	80	60	60	60	60	60
Čekání na materiál	15	60	15	15	60	15	60	15	15
Manipulace s materiálem ve skladu (paletový vozík, VZV)	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Ostatní									

Obr. 5.5 Záznam činností, podle měření.

Označení tříděného materiálu v rámci dne	1. Den	2. Den	3. Den	4. Den	5. Den	6. Den	7. Den
1418376-1	180	180	180	135	180	150	150
x-1718321-x	75	80	75	90	90	105	90
x-1718324-x	45	30	45	45	30	45	45
1-1394757-1		10		30			15

Obr. 5.6 Kritické materiály.

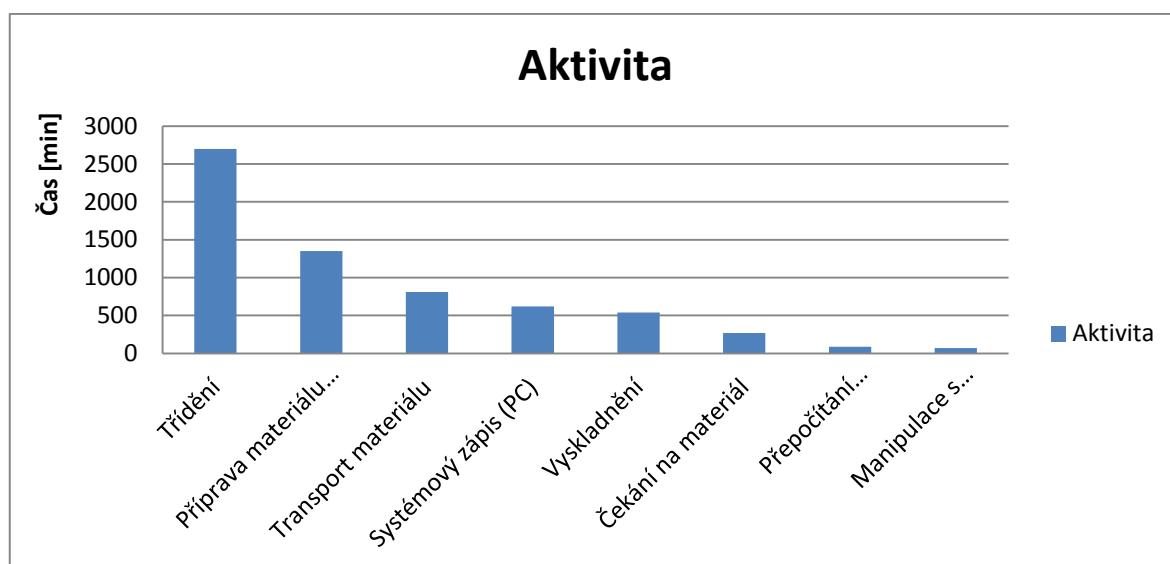
## 5.7 Analýza měření procesu

Naměřená data byla dána do grafu a byla provedena Paretova analýza.

Interpretace Paretova diagramu definuje, že pouze několik kategorií zodpovídá za cca 80% problémů nebo odpadu [11].

Analýza dle grafu 5.1 prokazuje, že klíčové aktivity, které mají největší negativní dopad na proces, jsou tyto:

- třídění materiálu,
- příprava materiálu pro výrobní linku.



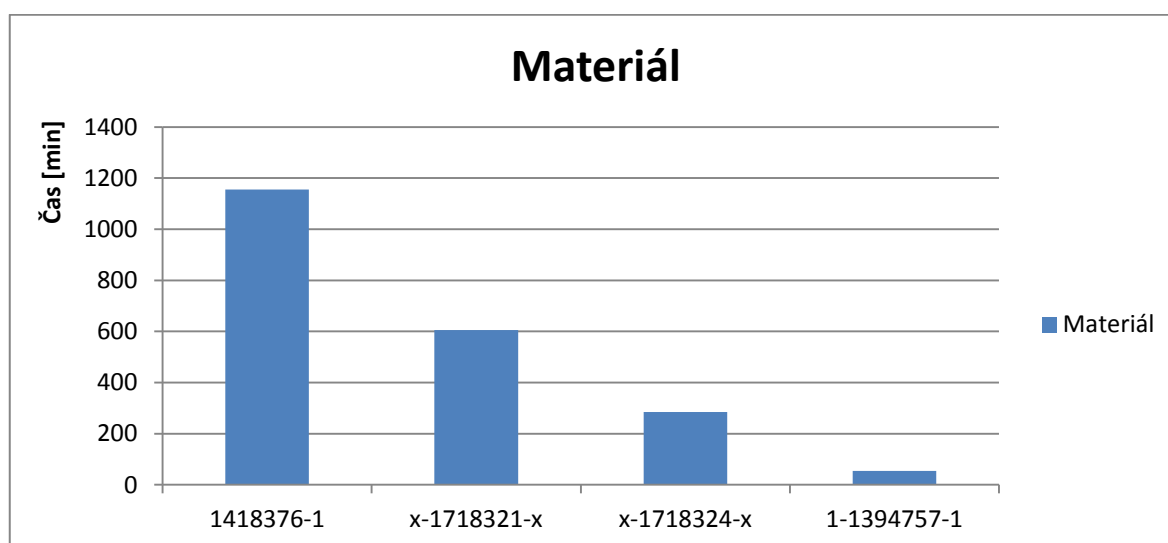
Graf 5.1 Paretova analýza činností.

V dalších fázích řešení se studie zabývá systémem, jak tyto časové prostoje minimalizovat, případně kompletně eliminovat.

Graf 5.2 definuje nejnáročnější materiály na třídění během sledovaného období, dle grafu Paretovy analýzy jsou to dvě vstupní komponenty s označením:

- 1418376
- x-1718321-x





Graf 5.2 Paretova analýza materiálu ke třídění.

Navrhnuté řešení je tedy aplikováno pro dva materiály s nejdelším třídícím časem.

## 5.8 Zlepšení procesu

Vzhledem k výsledkům analytické části, kde jsou identifikovány aktivity, které mají kritický dopad na průběh procesu a následně definovány materiály, které způsobují největší časové prostoje na třídění, byla veškerá pozornost soustředěna na eliminaci těchto aktivit u definovaných materiálů.

Na základě teoretické rešerše problematiky a diskuze s vedením podniku bylo navrženo řešení problému pomocí bezzásobové technologie Kanban. Systém Kanbanu je navržen prozatím pouze pro dva identifikované materiály s označením: 1418376 a x-1718321-x.

K definici podoby stanoviště Kanban je nutné zjistit potřebné množství a frekvenci doplňování materiálu. Spolu se stanovištěm Kanban je navržena i implementace kanbanové tabule pro vizuální umístění kanbanových karet.

### 5.8.1 Návrh zlepšení procesu pro materiál 1418376

První kanbanová kalkulace je pro materiál s označením 1418376:

Pomocí vztahu:

$$RT_{LOOP} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 \quad (5.5)$$

Je identifikován čas doplňování, tedy:

$R_1$  (čas od spotřebování kanbanové jednotky po přesun karty na kanbanovou tabuli) – jedná se o dobu přesunu operátora ze svého pracoviště k tabuli kanbanových karet, čas je

definován polohou pracoviště, v kalkulaci je počítán nejpomalejší čas (z nejvzdálenějšího pracoviště), tj. 5 minut.

$R_2$  (čekací čas na přípravu 1 kanbanové jednotky) – dle měření v průměru 30 minut

$R_3$  (čas potřebný pro připravení 1 nové kanbanové jednotky) – dle měření 60 minut

$R_4$  (časová ztráta přechodu z jedné kanbanové jednotky na následující) – otevření, vybalení materiálu, 5 minut

$R_5$  (výrobní čas jedné kanbanové jednotky) – neuvažováno, polotovary jsou již vyrobené a žádná předvýroba v tomto případě nenastává, výrobní linka není v tomto procesu závislá na výrobě vstupních komponent

$R_6$  – (přeprava kanbanové jednotky do výrobního regálu) – dle měření 8 minut

$$RT_{LOOP} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6$$

$$RT_{LOOP} = 5 + 30 + 60 + 5 + 0 + 8 \quad (5.6)$$

$$RT_{LOOP} = 108 \text{ min}$$

108 minut je tedy výsledný čas potřebný na doplnění materiálu 1418376 do kanbanového zásobníku.

Následuje kalkulace počtu kanbanových karet, tedy počet balení, které budou v kanbanovém zásobníku:

Fakta o materiálu 1418376:

- takt: 11s/ks -> 0,18 min/ks,
- balení: 20 ks v krabici,
- paleta: 19 krabic na paletě,
- spotřeba za směnu: 2660 ks,
- odchylka pokrývající neplánované faktory na straně dodávek je stanovena na 20%, odchylka spotřeby zákazníka (výrobní linky) je stanovena na 15%, tato hodnota pokrývá rychlost operátorů nad stanovenou normu.

$$R_f = \frac{RT_{LOOP}}{(t_i * n)} \frac{108}{(0,18 * 20)} = 30 \quad (5.7)$$

$$L_f = \frac{m}{n} = \frac{20}{20} = 1 \quad (5.8)$$

$$W_f = \left( \frac{wa}{n} \right) - R_f - L_f = \left( \frac{598}{20} \right) - 30 - 1 = -1,1 \leq 0 \rightarrow 0 \quad (5.9)$$

$$S_1 = \frac{(wax - wa)}{n} = \frac{(598 * 1,2) - 598}{20} = 5,98 \quad (5.10)$$

$$S_2 = \left( \frac{wa}{n} \right) * dev\% = \left( \frac{598}{20} \right) * 0,15 = 4,485 \quad (5.11)$$

$$S = S_1 + S_2 = 5,98 + 4,485 = 10,465 \quad (5.12)$$

$$N = R_f + L_f + W_f + S_f = 30 + 1 + 10,465 = 41,465 \quad (5.13)$$

Pro materiál s označením 1418376 je tedy nutné mít v oběhu 42 karet, kterými budou označená jednotlivá balení materiálu.

### 5.8.2 Návrh zlepšení procesu pro materiál x-1718321-x

Stejná kalkulace je provedená i pro druhý materiál x-1718321-x. Pro kalkulaci kanbanových karet tohoto materiálu je použitý stejný doplňovací čas, jako v případě 1418376. Důvodem je fakt, že typ materiálu nemá vliv na rychlost vyskladnění a přípravy komponent pro montážní linku.

Fakta o materiálu x-1718321-x:

- takt: 16s/ks -> 0,267 min/ks,
- balení: 120 ks v krabici,
- paleta: 28 krabic na paletě,
- spotřeba za směnu: 1800 ks,
- odchylka pokrývající neplánované faktory na straně dodávek komponent je stanovena stejně jako u předchozího materiálu na 20%, podobně, jako odchylka spotřeby zákazníka (výrobní linky), která je opět 15%.

$$R_f = \frac{RT_{LOOP}}{(t_i * n)} \frac{108}{(0,267 * 120)} = 3,37 \quad (5.14)$$

$$L_f = \frac{m}{n} = \frac{120}{120} = 1 \quad (5.15)$$

$$W_f = \left( \frac{wa}{n} \right) - R_f - L_f = \left( \frac{108 * 3,37}{120} \right) - 3,37 - 1 = -1,337 \leq 0 \rightarrow 0 \quad (5.16)$$

$$S_1 = \frac{(wax - wa)}{n} = \frac{(363,96 * 1,2) - 363,93}{120} = 0,61 \quad (5.17)$$

$$S_2 = \left( \frac{wa}{n} \right) * dev\% = \left( \frac{363,96}{120} \right) * 0,15 = 0,45 \quad (5.18)$$

$$S = S_1 + S_2 = 0,61 + 0,4 = 1,01 \quad (5.19)$$

$$N = R_f + L_f + W_f + S_f = 3,37 + 1 + 1,01 = 5,38 \quad (5.20)$$

Pro materiál s označením x-1718321-x je nutné mít v oběhu 6 kanbanových karet.

### 5.8.3 Návrh kanbanové karty

Pro zmíněné materiály byla definována podoba kanbanové karty (viz. Obr. 5.7)

Číslo dílu (PN)		Kanbanová karta
		/
Množství:		EAN kód
Skladové místo:		
Dodavatel:		

Obr. 5.7 Kanbanová karta.

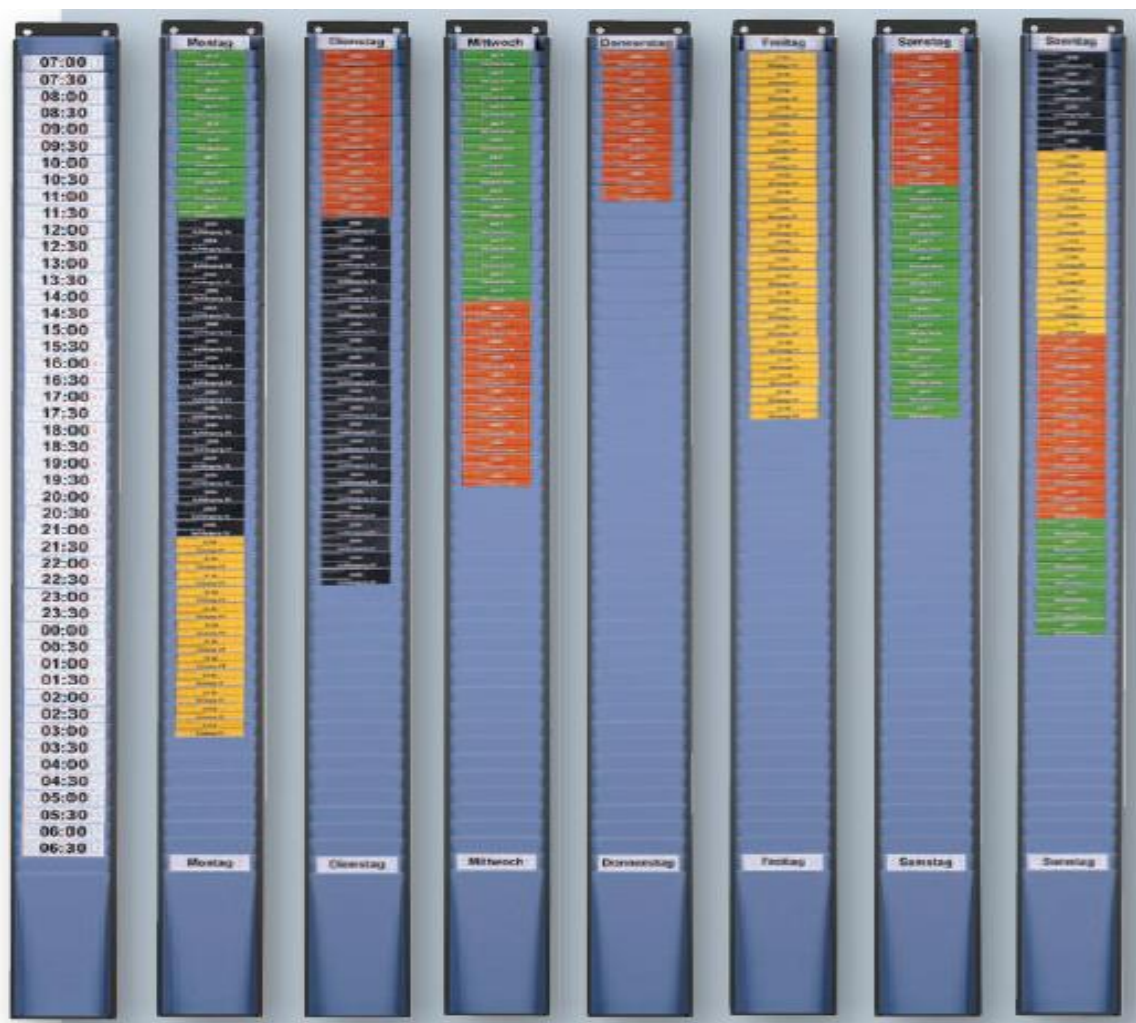
Pro materiály 1418376 a x-1718321-x není uvažováno plnění do regálů, vzhledem k efektivitě a časové úspoře bude materiál do výroby dopravován na EUR paletách, tak jak je to ve společnosti současnou praxí.

### 5.8.4 Kanbanová tabule

Po spotřebování jednoho balení materiálu (tzv. jednoho kanbanu) přenesení operátor kanbanovou kartu na kanbanovou tabuli. Zde umístěná karta je podnětem pro skladníky k vyskladnění, přípravě potřebného množství materiálu. Jakmile je materiál vyskladněn, je z kanbanové tabule skladníkem odebrána kanbanová karta a přidělena na nový materiál.

Pro řešení kanbanové tabule je navrhnut produkt od společnosti Beewatec (viz. Obr. 5.8), dostupný pod katalogovým číslem 83 10 546 Úzká kanban tabule o rozměrech [46]:

- šířka 102 mm,
- výška 1200 mm x 18 mm,
- hloubka 18 mm.



Obr. 5.8 Katalogová kanbanové tabule [46].

## 5.9 Návrh řízení zlepšeného procesu

Poslední fáze DMAIC metodologie ve firmě zatím nebyla realizována vzhledem k faktu, že ještě neskončila fáze zlepšení.

Navrhnutá změna přechodu na kanbanový systém v procesu přípravy materiálu pro výrobu mění dosavadní stav zásobování výrobní linky.

Pro udržitelnost a řízení procesní změny byly definován následující akční plán:

- změna pracovních instrukcí pro operátory – jakmile dojde ke spotřebování balení, operátor musí vzít kanbanovou kartu z balení a odnést ji na kanbanovou tabuli,
- zavedení nového pracovního postupu pro skladníky – v případě vyvěšené kanbanové karty musí doplnit potřebné množství materiálu na výrobní linku,

- vytvořit nařízení, definující případ, kdy materiál z kanbanu není plně spotřebován výrobní linkou – tento materiál zůstane v kanbanu do příští výroby,
- vytvořit nařízení pro operátory – před každou nově otevřenou krabicí materiálu zkontrolovat a zaevidovat výrobní šarži.

V řídicí fázi byly definovány následující metriky vedoucí k rozpoznání, zda se proces zhoršuje nebo stává neefektivním:

- výrobní linka nemá materiál pro výrobu a vzniká tak časový prostoj,
- návrat vstupních komponent z výrobní linky zpět do skladu, kde je nutné ho třídit.

Kontrolní plán s parametry pro definované metriky je zobrazen na Obr. 5.9.

Procesní krok	Kontrolovaný parametr (vstup nebo výstup)	Kontrolní metoda	Odpovědnost	Specifikovaný limit/požadavek	Akce
Příprava materiálu pro výrobu	Materiál pro výrobní linku je připraven	Časový prostoj	Pracovník logistiky přítomný na směně	0 minut	Navýšit kanban
Návrat nepracovaného materiálu zpět do skladu	Kontrola vráceného množství	Množství	Pracovník logistiky přítomný na směně	0 ks	Materiál vrátit do kanbanu

Obr. 5.9 Kontrolní plán.

Pro finální implementaci je navrhnout tento postup:

- proškolení pracovníky výroby a logistiky,
- označit místa ve výrobě pro kanbanový materiál,
- koupit kanbanovou tabuli,
- vytisknout kanbanové karty,
- vytvořit nové pracovní instrukce pro operátory (popisující operace s kanbanovými kartami),
- vytvořit nové instrukce pro skladníky (jak doplňovat kanban),
- označit materiál kanbanovými kartami
- spustit výrobu podle nového procesu,
- sledovat provoz, dle nového procesu.

## 6 DISKUZE

Tato studie byla zaměřena na popis systému řízení kvality Six Sigma. V první části je zmapována historie a vznik metodologie Six Sigma. V další kapitole je vysvětlena jedna z nejznámějších Six Sigma metod, a sice metoda DMAIC, která slouží k řešení výrobních a procesních problémů, podle této metody byl řešen problém v praktické části. Studie dále mapuje použití jednotlivých nástrojů a doporučuje jejich použití v jednotlivých fázích řešení.

V praktické části se studie zabývá řešením problému s vícepracemi během manipulace s materiálem ve společnosti poskytující montáž různých typů konektorů pro automobilový průmysl. Dle DMAIC metodologie byl nejprve kritický proces definován a byly určeny všechny vstupy a výstupy procesu. Následně byl problém kvantifikován a dopady na výstupy byly měřeny. Cílem měření bylo zjistit, které aktivity trvají nejdéle a jsou pro proces nejvíce problematické, dále pak identifikovat kritické materiály, u kterých jsou vícepráce nejdelší. Tyto dva typy měření byly následně analyzovány. Na základě analýzy bylo navrženo zlepšení daného procesu pomocí kanbanového řízení výroby. Pro výpočet správného množství materiálu v kanbanu byly naměřeny procesní časy potřebné k přípravě a doplnění vstupního materiálu, změřen takt a spotřeba materiálu výrobní linkou za jednu směnu. Na základě změřených dat bylo, dle teoretického modelu, vypočítáno potřebné množství materiálu pro kanbanové řízení. V poslední části studie byly definovány akce k implementaci této změny do výroby a identifikovány faktory upozorňující na odchylku od nastaveného procesu.

## ZÁVĚR

V současné době (květen 2017) ještě není ukončena fáze zlepšení, neproběhla tedy ještě poslední popsaná fáze řízení. Byly však stanoveny metriky a akce, jak funkčnost navrhnutého procesu udržet, případně rozpoznat jeho nefunkčnost.

Za podmínek plné implementace navrhnuté procesní změny a přechodu na kanbanové zásobování výroby, lze očekávat následující výstupy:

- navržený model odstraňuje problém se zpětným tříděním materiálu v plném rozsahu,
- denní časová úspora na všech třídících pracích je 5 hodin, tento čas může firma využít efektivněji (tj. aktivitou přidávající hodnotu),
- použitá metodika počítá s úsporou nákladů za práci a skladová místa v celkové výši 241 260 Kč ročně,
- zda tato metoda vyřešila i problém s reklamacemi bude možné posoudit za 12 měsíců od implementace, primárně však nebylo účelem této studie řešit náklady na reklamace, chyby v třídění materiálu však mohli na reklamaci mít vliv,
- kanbanové řešení bylo navrženo a spočítáno na základě teoretického modelu, denní praxe však může ukázat potřebu kanbanové limity upravit.

Další možností, jak procesní problém řešit je změnit balení komponent a materiál dodávat v baleních s menším počtem kusů přímo od dodavatele vstupních komponent. Z ekonomického hlediska se však jeví navrhnutá kanbanová metoda efektivněji, vzhledem k tomu, že subjekt funguje jako montážní společnost a dodavatel vstupního materiálu je zároveň zákazník finálních výrobků.



## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- 1] PANDE, P.S., NEUMAN, R.P., CAVANAGH, R.R. Zavádíme metodu Six Sigma aneb jakým způsobem dosahují renomované světové společnosti špičkové výkonnosti, TwinsCom, s.r.o., Brno, 2013. 416 s., ISBN: 80-238-9289-4.1.
- 2] SOKOVIC M., PAVLETIC D., FAKIN S. Application of Six Sigma methodology for process design, Journal of Materials Processing Technology, 2005, č. 162, str. 777-783, ISSN 0924-0136
- 3] THOMAS, A., BARTON, R., CHUKE-OKAFOR, CH. Applying lean six sigma in a small engineering company – a model for change, Journal of Manufacturing Technology Management, 2009, č.1, str. 113-129, ISSN 1741-038X.
- 4] PYZDEK, T., The Six Sigma handbook: The complete guide for greenbelts, blackbelts, and managers at all levels, revised and expanded edition, The McGraw-Hill Companies, Inc, 2003, 830 s., ISBN: 0-07-141015-5.
- 5] ISOBUDGET. Normal distribution [online], ©2017 [cit. 19.3.2017]. Dostupné z: <https://www.isobudgets.com/wp-content/uploads/2015/10/normal-distribution-250px.jpg>
- 6] ARNHEITER, E.D., MALEYEFF, J., The integration of lean management and Six Sigma", The TQM Magazine, 2005, č. 1, str. 5-18, ISSN 0954-478X.
- 7] GODFREY, A. Remembering Bob Galvin, ASQ Six Sigma Forum Magazine, 2011, č. 11, str. 4-6, ISSN 15394069.
- 8] MILLER, W. J., A working definition for total quality management (TQM) researchers, Journal of Quality Management, 1996, č. 2, str. 149-159, ISSN 10848568.
- 9] REVELLE, J. B., KEMERLING, R. A., Total Quality Management, Six Sigma, and Continuous Improvement, in Mechanical Engineers' Handbook: Manufacturing and Management, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, USA, 2005, str. 583-614, ISBN: 9780471777465
- 10] HOERL, W. R., GARDNER, M. M., Lean Six Sigma, creativity, and innovation, International Journal of Lean Six Sigma, 2010, č. 1, str. 30-38, ISSN 2040-4166.
- 11] GEORGE, M. L., Kapesní příručka Lean Six Sigma : rychlý průvodce téměř 100 nástroji na zlepšování kvality procesů, rychlosti a complexity, SC&C Partner, Brno, 2010, 280 s., ISBN: 978-80-904099-2-7 (brož.)
- 12] DE MAST, J., LOKKERBOL, J., An analysis of the Six Sigma DMAIC method from the perspective of problem solving, International Journal of Production Economics, 2012, č. 139 (2), str. 604-614, ISSN 0925-5273
- 13] MEHRJERDI, Y. Z., Six-Sigma: methodology, tools and its future, Assembly Automation, 2011, č. 31 (1), str. 79-88, ISSN 0144-5154
- 14] HONEYWELL INTERNATIONAL, Inc., Green Belt Design For Six Sigma Hardware & Core Participants Guide, © 2014, 888 s.
- 15] CHANG, S., YEN, D. C., CHOU, CH., WU, H., LEE, H., Applying Six Sigma to the management and improvement of production planning procedure's performance, Total

Quality Management & Business Excellence, Routledge, 2012, č. 23(3-4), str. 291-308, ISSN 1478-3363.

16] THE PROCESS CZAR. Choosing Your Decision-Making Methodology: DMAIC or PDCA [online], ©2012 [cit. 15.4.2017]. Dostupné z: <http://4.bp.blogspot.com/-qwDVR93G5eQ/UCuoWxYc-GI/AAAAAAAAAIg/wRw0p6yFpGU/s1600/DMAIC+vs+PDCA.jpg>

17] GUPTA, V., ACHARYA, P., PATWARDHAN, M.. Monitoring quality goals through lean Six-Sigma insures competitiveness. International Journal of Productivity and Performance Management, Bradford: Emerald Group Publishing Limited, 2012, č. 61(2), str. 194-203, ISSN 17410401.

18] ANONYMOUS, CONSIDER DMAIC: IMPROVE THE SYSTEM, REDUCE WASTE, DISCOVER MORE MONEY, Quality, Troy: BNP Media, 2015, č. 54(3), str. 16, ISSN 03609936.

19] GEJDOŠ, P., Continuous Quality Improvement by Statistical Process Control, Procedia Economics and Finance, Elsevier B.V, 2015, č. 34, str. 565-572, ISSN 2212-5671

20] BHALLA, A. Who Wants a SIPOC Anyway?, ASQ Six Sigma Forum Magazine, Milwaukee: American Society for Quality, 2010, č. 9(2), str. 31, ISSN 15394069.

21] DMAIC TOOLS PROCESS IMPROVEMENT TOOLS AND TEMPLATES [online], ©2017 [cit. 16.4.2017]. Dostupné z: <http://www.dmaictools.com/wp-content/uploads/2014/10/SIPOC.png>

22] CUSTOMER MAGNETISM DIGITAL & SOCIAL MARKETING [online], ©2017 [cit. 17.4.2017]. Dostupné z: <https://www.customermagnetism.com/wp-content/uploads/2015/06/defined-process-map.jpg>

23] KAMPOS, s.r.o. O nás. [online], ©2014-2017 [cit. 23.4.2017]. Dostupné z: <http://kampos.cz/o-nas>

24] KAMPOS, s.r.o. Montáž konektorů, elektrovýroba. [online], ©2014-2017 [cit. 23.4.2017]. Dostupné z: <http://kampos.cz/montaz-konektoru-elektrovyroba/>

25] KAMPOS, s.r.o. Kabelové svazky. [online], ©2014-2017 [cit. 23.4.2017]. Dostupné z: <http://kampos.cz/kabelove-svazky/>

26] GO LEAN SIX SIGMA, Failure Modes & Effects Analysis (FMEA) [online], ©2017 [cit. 23.4.2017]. Dostupné z: [https://goleansixsigma.com/wp-content/uploads/2012/02/FMEA\\_-\\_v3.0\\_-\\_GoLeanSixSigma.com\\_.png](https://goleansixsigma.com/wp-content/uploads/2012/02/FMEA_-_v3.0_-_GoLeanSixSigma.com_.png)

27] RENU, R., VISOTSKY, D., KNACKSTEDT, S., MOCKO, G., SUMMERS, J. D., SCHULTE, J., A Knowledge Based FMEA to Support Identification and Management of Vehicle Flexible Component Issues. Procedia CIRP. 2016, č. 44, str. 157-162, ISSN 2212-8271.

28] LEWIS, J. Identifying seven types of waste. Upholstery Manufacturing, 2005, č. 18 (10), str. 20-24, ISSN 1556990X.

29] WHAT IS SIX SIGMA, Control plan [online], ©2017 [cit. 30.4.2017]. Dostupné z: <http://www.whatissixsigma.net/wp-content/uploads/2012/01/six-sigma-dmaic-control-phase-ocap-table-out-of-control-action-plan-table.png>

- 30] PRANCKEVICIUS, D., DIAZ, D. M., GITLOW, H. A lean six sigma case study: an application of the "5s" techniques. *Journal of Advances in Management Research*, 2008, č. 5 (1), str. 63-79, ISSN 09727981.
- 31] Worthington Assembly Inc. (WAI) [online], 5S - II: Selective Soldering Station, ©2016 [cit. 1.5.2017]. Dostupné z: <https://www.worthingtonassembly.com/blog/2011/06/17/5s-ii-selective-soldering-station>
- 32] BERNIER, V., FREIN, Y., Local scheduling problems submitted to global FIFO processing constraints. *International Journal of Production Research*, 2004, č. 42 (8), str. 1483-1503, ISSN 00207543.
- 33] A Techie's Notebook [online], POKA YOKE - Applying Mistake Proofing to Software, ©2012 [cit. 1.5.2017]. Dostupné z: <http://techie-notebook.blogspot.cz/2012/07/poka-yoke-applying-mistake-proofing-to.html>
- 34] GROUT, J. R., TOUSSAINT, J. S. Mistake-proofing healthcare: Why stopping processes may be a good start. *Business Horizons*, 2010, č. 53 (2), str. 149-156, ISSN 0007-6813.
- 35] PRŮŠA, P., TILKERIDIS, D., KAMPF, R., Practical aspects of JIT. *Scientific papers of the University of Pardubice*, 2006, ISSN 1211-6610.
- 36] KIWIKI [online], Spôsobilosť vonkajších krúžkov kuželíkových ložísk v procese výroby, ©2010 [cit. 9.5.2017]. Dostupné z: [http://www.kiwiki.info/images/c/c9/Mp\\_dp\\_21.jpg](http://www.kiwiki.info/images/c/c9/Mp_dp_21.jpg)
- 37] COOPER, R. G., DREHER, A., Voice-of-customer: Methods. *Marketing Management*, 2010, č. 19 (4), str. 38-43, ISSN 10613846.
- 38] SIXTA, J., MAČÁT, V. *Logistika: teorie a praxe*, Brno, CP Books, 2005, 315 s., ISBN 80-251-0573-3.
- 39] JUROVÁ, M., *Výrobní procesy řízené logistikou*, Brno, BizBooks, 2013, 260 s. ISBN 978-80-265-0059-9.
- 40] LAMBERT, D. M., ELLRAM, L. M., STOCK, J. R., *Logistika: [příkladové studie, řízení zásob, přeprava a skladování, balení zboží]*, Praha, Computer Press, 2000, 589 s. ISBN 80-7226-221-1.
- 41] The LeanMen [online], LM Kanban Simulation, ©2004-2017 [cit. 10.5.2017]. Dostupné z: <http://www.theleanman.com/FileUpload/Supermarket.jpg>
- 42] Kvalita produkcie [online], FMEA, Heijunka, Kanban, ©2011 [cit. 10.5.2017]. Dostupné z: [http://www.kvalitaprodukcie.info/wp-content/uploads/2011/06/kanban\\_karta.jpg](http://www.kvalitaprodukcie.info/wp-content/uploads/2011/06/kanban_karta.jpg)
- 43] DENG, Q., WANG, J., *Leveling-Based Kanban Calculation in Production System*. *Applied Mechanics and Materials*, Zurich, Trans Tech Publications, 2012, str. 229-231, ISSN 16609336.
- 44] Jak na Excel [online], Paretův diagram (graf) - Excel, ©2004-2017 [cit. 13.5.2017]. Dostupné z: <http://office.lasakovi.com/excel/grafy/paretuv-diagram-graf/paretuv-diagram-graf-excel.jpg>

45] POWER BI TIPS AND TRICKS [online], Pareto Charting in PowerBI, ©2017 [cit. 13. 5. 2017]. Dostupné z: <http://powerbitips.azurewebsites.net/wp-content/uploads/2016/10/Final-Pareto-Chart.png>

46] Beewatec [online], Vizualizace pracovišť a kanbanové systémy, ©2010 [cit. 14.5.2017]. Dostupné z: <http://www.beewatec.cz/files/upload/file/vizualizace-pracovist.pdf>

47] LIKER, J. K., The Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer. New York: McGraw-Hill, 2004, 330 s., ISBN 978-0-07-139231-0.

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
<b>5S</b>	[-]	Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke – třídit, nastavit pořádek, uklidit, standardizovat, zachovat
<b>D-FMEA</b>	[-]	Design Failure Mode and Effect Analysis – vývojová analýza vad a jejich vlivu
<b>DMAIC</b>	[-]	Define, Measure, Analyse, Improve, Control – definovat, měřit, analyzovat, zlepšit, řídit
<b>DPMO</b>	[-]	Defects Per Million Opportunities – počet defektů na milión příležitostí
<b>FIFO</b>	[-]	First in, first out – první dovnitř, první ven (systém řízení zásob)
<b>FMEA</b>	[-]	Failure Mode and Effect Analysis – analýza vad a jejich vlivu
<b>GM</b>	[-]	General Motors – výrobce automobilů
<b>JIT</b>	[-]	Just in time – právě včas (logistický systém řízení)
<b>LED</b>	[-]	Light Emitting Diode – dioda vyzařující světlo
<b>MRP</b>	[-]	Manufacturing Resource Planning – výrobní plánovací systém
<b>PDCA</b>	[-]	Plan, Do, Check, Act – plánovat, dělat, kontrolovat, jednat
<b>P-FMEA</b>	[-]	Process Failure Mode and Effect Analysis – procesní analýza vad a jejich vlivu
<b>R&amp;D</b>	[-]	Research and development – výzkum a vývoj
<b>RPN</b>	[-]	Risk priority number – hodnota míry rizika
<b>SIPOC</b>	[-]	Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers – dodavatelé, vstupy, proces, výstupy, zákazníci (nástroj popisující proces)
<b>TPS</b>	[-]	Toyota Production System – systém výroby ve společnosti Toyota
<b>TQM</b>	[-]	Total Quality Management – komplexní řízení kvality
<b>VOC</b>	[-]	Voice of customer – hlas zákazníka
<b>VOE</b>	[-]	Voice of employee – hlas zaměstnanců
<b>VOS</b>	[-]	Voice of sales – hlas prodejců